



Contribution au pilotage des compétences dans les activités de conception : de la modélisation des situations à la caractérisation des compétences.

Farouk Belkadi

► To cite this version:

Farouk Belkadi. Contribution au pilotage des compétences dans les activités de conception : de la modélisation des situations à la caractérisation des compétences.. Automatique / Robotique. Université de Franche-Comté, 2006. Français. NNT: . tel-00217404

HAL Id: tel-00217404

<https://theses.hal.science/tel-00217404>

Submitted on 25 Jan 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Année : **2006**

N° ordre : **1176**

THESE

présentée à

**L'UFR des Sciences et Techniques
de l'Université de Franche-Comté**

pour obtenir le

**GRADE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE
DE FRANCHE-COMTE**

en Automatique

(Ecole Doctorale Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques)

**Contribution au pilotage des compétences dans les
activités de conception : De la modélisation des
situations à la caractérisation des compétences**

par

BELKADI FArouk

Soutenue le **21 novembre 2006**

devant la Commission d'examen :

Rapporteurs : M. Jean Pierre-Bourey, Professeur, Ecole Centrale de Lille
M. Bernard Grabot, Professeur, ENIT Tarbes.

Examineurs : M. Bernard Descotes-Genon, Professeur, INPG, Grenoble
M. Jean Michel Henrioud, Professeur, UFC, Besançon.
M. Jean Renaud, HDR – MDC, INPL, Nancy
M. Xavier Boucher, Maître de conférences, ENSM St-Étienne

Directeurs de thèse : Mme. Maryvonne Dulmet, HDR – MDC, UFC, Besançon
M. Eric Bonjour, Maître de Conférences, UFC, Besançon

A
la mémoire de
mon père ...

REMERCIEMENTS

Les travaux présentés dans cette thèse ont été réalisés au sein de l'équipe Modélisation et Pilotage des Activités de Conception du Laboratoire d'Automatique de Besançon (LAB). C'est une expérience qui n'aurait pas pu aboutir sans la contribution et les encouragements de nombreuses personnes.

J'adresse mes remerciements à Monsieur Alain BOURJAULT, Professeur, directeur du LAB pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire et pour avoir mis à ma disposition tous les moyens nécessaires afin de mener à bien ce travail.

Ce sujet a été proposé et encadré par Madame Maryvonne Dulmet, HDR à l'Université de Franche-Comté et Monsieur Eric Bonjour, Maître de conférences à l'Université de Franche Comté. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude pour la confiance qu'ils m'ont accordée en me proposant ce sujet. Un témoignage particulier s'impose envers ces deux personnes qui m'ont tant apporté par leurs orientations, leurs qualités humaines, leur engagement et leur disponibilité dans l'encadrement de cette thèse.

C'est un honneur pour moi d'adresser mes remerciements aux membres du jury pour le temps et l'attention qu'ils ont consacré à la lecture et à la critique de ce travail.

Que Monsieur Jean-Pierre Bourey, Professeur à l'Ecole Centrale de Lille, trouve ici ma reconnaissance d'avoir accepté d'être rapporteur de mon mémoire de thèse. Je le remercie aussi pour son aide et ses conseils.

Ma reconnaissance va également à Monsieur Bernard Grabot, Professeur à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes, qui a accepté, lui aussi, d'être rapporteur de mon mémoire de thèse.

Je souhaite exprimer ma gratitude à Monsieur Bernard Descotes-Genon, Professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble (Laboratoire d'Automatique de Grenoble), pour avoir accepté de faire partie de mon jury.

L'expression de ma gratitude va également à Monsieur Jean Michel Henrioud, Professeur à l'Université de Franche Comté, pour avoir accepté de participer à ce jury de thèse.

Je tiens à remercier Monsieur Jean Renaud, HDR à l'Institut National Polytechnique de Lorraine, pour sa participation à mon jury de thèse ainsi que pour ses précieux conseils durant ce travail.

Je remercie également Monsieur Xavier Boucher, Maître de conférences à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne, d'avoir accepté de prendre part à ce jury de thèse.

Que Monsieur Jean-Pierre Micaëlli, Maître de conférences à l'Université de Technologie de Belfort Montbéliard, trouve ici l'expression de mes remerciements pour toutes ses remarques constructives et ses conseils qui ont enrichi mon travail.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à Monsieur Ahmed Hammad, Maître de conférences à l'Université de Franche Comté, pour toute son aide et ses conseils qui ont facilité l'aboutissement de ce travail.

Je remercie vivement Messieurs Julien Le Gras et Aurélien Goulet, étudiants en dernière année de master de conception de produit bois, pour leur implication et leur disponibilité durant la réalisation de la partie applicative de ce travail. Ma reconnaissance va également aux concepteurs de l'entreprise Parisot meubles qui nous ont beaucoup apporté par leur expérience professionnelle dans le domaine de la conception.

J'ai eu beaucoup de plaisir à travailler dans l'ambiance conviviale qui règne au sein du laboratoire. Je remercie vivement l'ensemble des doctorants, des enseignants et du personnel pour cet esprit amical. Un remerciement particulier à Monsieur Noureddine Zerhouni, professeur à l'ENSM, pour son soutien durant toute la période de mon DEA et de ma thèse au laboratoire.

Ça serait ingrat de ma part de terminer ce témoignage sans me souvenir de ceux qui ont contribué, par leurs encouragements, leur soutien moral, même de très loin, à l'aboutissement de cette thèse. Je veux parler ici de tous les membres de ma famille en Algérie, de ma mère, de mon unique frère Malek, de mon ami et "deuxième frère" Karim et de tous mes amis qui se reconnaîtront dans ces mots.

Je ne manquerai pas d'adresser ma sincère reconnaissance à Monsieur Rachid Ouigini, ex secrétaire général du CDTA d'Alger, qui m'a tant donné par son soutien et ses encouragements. A lui je dédie ce mémoire ...

Farouk

TABLE DES MATIERES

TABLE DES FIGURES	Li
TABLE DES TABLEAUX	Liv

INTRODUCTION GENERALE	1
------------------------------------	----------

CHAPITRE I :	
MODELISATION ET PILOTAGE DES ACTIVITES	
DE CONCEPTION	5

I. Les activités de conception	6
I.1. Les principales caractéristiques de l'activité de conception	8
I.2. La construction progressive des prescriptions et des résultats	10
I.3. La collaboration en conception	11
I.4. La conception mobilisatrice et génératrice de connaissances et de compétences	12
II. Sur l'amélioration des performances des activités de conception	13
III. Traçabilité des activités de conception	17
III.1. Méthodes génériques de capitalisation	18
III.2. Modèles spécifiques en conception	19
III.2.1. Modèles du produit	20
III.2.2. Modèles processus	21
III.2.3. Modèles de traçabilité des décisions	24
IV. Bilan et positionnement	27

CHAPITRE II :	
ANALYSE ET PILOTAGE DES COMPETENCES	31

I. Concepts et définitions	32
I.1. Définition de "donnée" et "information"	32
I.2. Définition de "la connaissance"	32
I.3. Définitions de "la compétence" dans la littérature	34
I.4. Caractéristiques de la compétence	35
I.4.1. Un concept différent de la qualification	36
I.4.2. Une production de performances dans une activité finalisée	36
I.4.3. Un jugement externe pour reconnaître une compétence	36

I.4.4. Une mobilisation organisée de ressources cognitives	37
I.4.5. Un caractère individuel ou collectif.....	37
I.5. Notre définition.....	38
II. Intérêts du concept de situation pour l'analyse des compétences	38
II.1. Modèle théorique de la compétence	38
II.2. Rôle central de la situation pour l'analyse de la compétence.....	42
III. Le pilotage des compétences.....	44
III.1. Valorisation et identification des compétences.....	46
III.1.1. Méthodologie de valorisation de compétences [Pépiot 2005]	47
III.1.2. Méthode d'identification des compétences [Ley et Albert 2003].....	48
III.2. Intégration des compétences dans l'évaluation de performance	50
III.2.1. Le modèle "S-A-R-C" de Boucher et Burlat.....	50
III.2.2. Estimation de l'impact des compétences sur la performance [Bennour,2004]..	51
III.3. Allocation des compétences et team building.....	53
III.3.1. Indices des compatibilités floues [De Korvin &al., 2002].....	55
III.3.2. Méthode floue de Canos et Liern [Canos &al., 2004]	55
III.4. Développement de supports informatiques.....	56
IV. Synthèse et positionnement	58
IV.1. Caractérisation des compétences et référentiels	60
IV.1.1. Définition de typologies de composants de compétences	60
IV.1.2. Evaluation des niveaux de maîtrise	62
IV.1.3. Développement de méthodes et procédures.....	63
IV.2. Notre contribution, une approche pour l'aide à la caractérisation de compétences .	67

CHAPITRE III :

CADRE CONCEPTUEL POUR LA MODELISATION

DES SITUATIONS DE TRAVAIL.....69

I. La situation de travail dans la littérature.....	70
I.1. Définitions de la situation.....	70
I.2. Modèles de situation.....	71
I.2.1. Les cartes cognitives.....	71
I.2.2. Le modèle conceptuel triadique de Rabardel.....	72
I.2.3. Le modèle triadique de Penalva (SAGACE).....	73
I.2.4. Le modèle du contexte dans l'outil DypKM	74
I.2.5. Le modèle de Houssin pour la prise en compte des situations à risque	75
I.2.6. Le modèle KnowledgeScope (mémoire d'organisation)	76
I.3. Caractéristiques du concept de situation.....	78
I.3.1. La situation est un système	78
I.3.2. Un double regard sur la situation.....	78
I.3.3. La situation est un concept "relatif et interprétatif"	79
I.3.4. La situation est un espace d'interactions	79
I.3.5. La situation est un concept à dimension évolutive	80
I.3.6. La situation est une forme de connaissance.....	80

II. Différents aspects de la situation.....	81
II.1. Les objectifs	81
II.2. Les ressources	81
II.3. Les résultats	81
II.4. L'axe Objectifs – Ressources	81
II.5. L'axe Objectifs – Résultats	82
II.6. L'axe Ressources – Résultats	82
III. Concepts et définitions	83
III.1. Notre définition du concept de situation	84
III.2. Définition des concepts "entité"	85
III.2.1. Définition d'une "Entité de base"	85
III.2.2. Définition d'une "Entité interactionnelle"	86
III.3. Définition du concept de "rôle spécifique".....	86
III.3.1. Propriétés du concept de rôle spécifique	88
III.3.2. Notre typologie de rôles spécifiques	89
III.4. Distinction tâche – activité	90
III.4.1. Objectif, tâche et mission.....	90
III.4.2. Processus	91
III.4.3. Activité et plan d'actions	92
III.4.4. Acteur	93
IV. Conclusion.....	93
 CHAPITRE IV :	
MODELISATION DES SITUATIONS POUR LA	
TRAÇABILITE EN CONCEPTION.....	95
I. Pourquoi UML ?	96
II. Modèle générique de la situation de travail	97
III. Modèles descriptifs du concept entité de base	97
III.1. La classe "Ressource_Humaine".....	98
III.2. La classe "Ressource_Materielle"	98
III.3. La classe "Produit"	99
IV. Modèles descriptifs du concept d'"Entité Interactionnelle"	101
IV.1. Les entités interactionnelles communautaires	101
IV.2. Les entités interactionnelles transactionnelles	104
IV.3. Les entités interactionnelles "contrainte"	106
IV.4. Les entités interactionnelles opérationnelles	107
IV.4.1. La classe "projet" du point de vue des "objectifs"	108
IV.4.2. La classe "tâche" et la vue "mission"	112
IV.4.3. La classe "projet" du point de vue des "entités".....	114
IV.4.4. L'activité, réalisation de la tâche	116
IV.4.5. Les actions élémentaires.....	117
V. Vers une démarche de traçabilité.....	123
VI. Conclusion.....	125

CHAPITRE V :	
VERS UNE CARACTERISATION DES COMPETENCES	
PAR UNE APPROCHE FLOUE	127
I. Principe général de l'approche de caractérisation	128
II. Représentation de la compétence	130
II.1. Modèle générique UML de la compétence	131
II.2. Les connaissances techniques	132
II.3. Les capacités opératoires.....	133
II.3.1. La capacité d'analyse	133
II.3.2. La capacité d'organisation.....	134
II.4. Les capacités relatives aux règles de conduite	134
II.4.1. La capacité relationnelle.....	134
II.4.2. La capacité décisionnelle.....	134
III. Caractéristiques de la situation	135
III.1. Variables caractéristiques de la complexité de la situation.....	136
III.1.1. Complexité par rapport à l'objet	136
III.1.2. Complexité par rapport au nombre d'actions élémentaires	137
III.1.3. Complexité par rapport au nombre de contraintes.....	138
III.1.4. Complexité par rapport au nombre d'entités	138
III.2. Variables pour décrire la nature de l'activité.....	139
III.2.1. Proximité de l'activité par rapport à l'aspect "Analyse".....	139
III.2.2. Proximité de l'activité par rapport à l'aspect "Décision"	140
III.2.3. Proximité par rapport à l'aspect "Exécution"	140
III.3. Variables caractéristiques de la nature relationnelle.....	141
III.3.1. Type de transaction.....	141
III.3.2. Nombre de participants	141
III.3.3. Fréquence d'interaction avec une entité.....	142
IV. Le Module de traitement flou	142
IV.1. Fuzzification	142
IV.2. Moteur d'inférences	144
IV.2.1. Règles d'inférences pour les niveaux de connaissances techniques.....	144
IV.2.2. Règles d'inférences pour la capacité d'analyse	145
IV.2.3. Règles d'inférences pour la capacité d'organisation	146
IV.2.4. Règles d'inférences pour la capacité décisionnelle	146
IV.2.5. Règles d'inférences pour la capacité relationnelle	146
IV.2.6. Le calcul d'inférences	146
IV.3. Défuzzification.....	147
V. Exemple d'application	148
VI. Conclusion	153
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	155
BIBLIOGRAPHIE.....	159
ANNEXES	AI

TABLE DES FIGURES

Figure I-1. Modèle du processus de conception (Pahl & al., 1996)	8
Figure I-2. Différents thèmes de recherche en conception.....	13
Figure I-3. Cycle traçabilité – exploitation en conception.....	17
Figure I-4. Espace de conception	20
Figure I-5. Exemple de modèle produit (Harani 1997)	21
Figure I-6. Exemple de modèle processus (Harani 1997)	23
Figure I-7. Exemple de modèle processus (Menand 2002)	23
Figure I-8. La grille GRAI et Les réseaux GRAI	25
Figure I-9. Les différentes activités dans la méthode GRAI (Eynard 1999)	25
Figure I-10. Modèle relationnel de la logique de conception (Bekhti 2003)	26
Figure I-11. Modèle des justificatifs de décision (Bigand & al., 2005)	27
Figure I-12. Positionnement de notre problématique	29
Figure II-13. Modèle de fonctionnement d'un schème (Bonjour & al., 2001)	40
Figure II-14. Différents modes d'activation d'un schème	43
Figure II-15. Méthodologie de valorisation de compétence (Pépiot 2005)	48
Figure II-16. Exemple d'une structure "Compétence-Performance" (Ley 2006)	49
Figure II-17. Modèle S-A-R-C de (Boucher & al., 2003b).....	51
Figure II-18. Modèle activité, performance et compétence (Bennour, 2004)	53
Figure II-19. Organigramme de formation d'équipe de projet (Fitzpatrick & al., 2005).....	54
Figure II-20. Exemple d'un outil informatique de gestion de compétences (Rose & al., 2006)	57
Figure II-21. Modèle entité-relation des compétences (Harzallah 2000)	61
Figure II-22. Exemple de signature d'une compétence (Competice 2001)	63
Figure II-23. Problématique des référentiels de compétences [Rault, 1993]	64
Figure II-24. Approche globale d'aide à la caractérisation de compétences.....	68
Figure III-25. Modèle d'une carte cognitive de graphe conceptuel (Aissaoui & al., 2003).....	71
Figure III-26. Modèle de la situation d'activité instrumentée (Rabardel, 1993)	73
Figure III-27. Représentation de la situation dans la méthode SAGACE (Penalva, 1997).....	74
Figure III-28. Langage graphique de la méthode SAGACE (Penalva, 1997)	74
Figure III-29. Description du contexte de travail dans une mémoire de projet (Bekhti 2003)	75
Figure III-30. Modèle de situation de travail de (Houssin 2002).....	76
Figure III-31. Modèle KnowledgeScope d'une mémoire d'organisation (Kwan & al., 2003)	77
Figure III-32. Concept "entité – relation" adapté pour modéliser la situation	83
Figure III-33. Exemple d'une structure d'organisation selon (Mintzberg, 1982)	87

Figure III-34. La tâche : transformation désirée sur l'état d'un objet (Hernandez 1995)	90
Figure III-35. Description conceptuelle de l' "activité"	93
Figure. IV-36. Modèle générique de la situation.....	97
Figure. IV-37. Les entités de base.....	98
Figure. IV-38. Le modèle de produit	99
Figure. IV-39. Instanciation du modèle produit (modèle meuble version 0).....	100
Figure. IV-40. Instanciation du modèle produit (modèle meuble Version Finale).....	101
Figure. IV-41. Les entités interactionnelles communautaires	103
Figure. IV-42. Exemple d'entités interactionnelles communautaires (équipe projet)	104
Figure. IV-43. Les entités interactionnelles transactionnelles	105
Figure. IV-44. Les E.I. contraintes.....	107
Figure. IV-45. Les entités interactionnelles opérationnelles	107
Figure. IV-46. La structuration des objectifs (Projet-Processus).....	109
Figure. IV-47. Exemple 1 de structuration des objectifs (Projet-Processus).....	110
Figure. IV-48. Exemple 2 de structuration des objectifs (Processus d'étude marketing).....	111
Figure. IV-49. Exemple 3 de structuration des objectifs (Processus conception technique)....	112
Figure. IV-50. La "tâche" et la vue "mission"	113
Figure. IV-51. Exemple de mission : la tâche "analyse produit"	113
Figure. IV-52. Exemple de mission : la tâche "Réalisation des plans".....	114
Figure. IV-53. La classe projet du point de vue des entités	115
Figure. IV-54. Exemple du diagramme objet "classe projet du point de vue des entités"	115
Figure. IV-55. Exemple de l'entité activité "Analyse des meubles"	116
Figure. IV-56. Modèle de réalisation d'une tâche	117
Figure. IV-57. Les actions élémentaires	119
Figure. IV-58. Structure générique des plans d'actions.....	120
Figure. IV-59. Exemple du plan d'action de l'activité "Analyse des meubles"	121
Figure. IV-60. Exemple du plan d'action (version 0) de l'activité "réalisation des plans"	121
Figure. IV-61. Exemple du plan d'action (version 1) de l'activité "réalisation des plans"	122
Figure. IV-62. Exemple d'une entité interactionnelle transactionnelle "coopération"	123
Figure. IV-63. Démarche de traçabilité préconisée	124
Figure V-64. Principe général de l'approche de caractérisation des compétences	129
Figure V-65. Hypothèse de base de la méthode	130
Figure V-66. Modèle générique de la compétence	132
Figure V-67. Signature sur les quatre axes d'une compétence	134
Figure V-68. Complexité de la situation par rapport aux nombre d'actions	138
Figure V-69. Fonctions d'appartenance pour la variable "comp_Obj".....	143
Figure V-70. Exemple du mécanisme d'inférences.....	149
Figure V-71. Signature de la compétence associée à l'activité "réalisation des plans"	152
Figure A-72. Exemple d'une classe d'objets	A7
Figure A-73. Relation d'association	A8
Figure A-74. Association n-aire.....	A8
Figure A-75. Relation d'agrégation.....	A8

Figure A-76. Relation de composition	A8
Figure A-77. Classe d'association.....	A9
Figure A-78. Représentation des diagrammes UML par une relation d'héritage	A9
Figure A-79. Représentation des cas d'utilisation possibles.....	A12
Figure A-80. Diagramme d'activité pour la réalisation d'une E.I. "activité"	A13
Figure A-81. Diagramme d'activité pour l'E.I. "communication"	A13
Figure A-82. Diagramme d'activité pour l'E.I. "coopération par échange"	A14
Figure A-83. Diagramme d'activité pour l'E.I. "coopération par négociation"	A14
Figure A-84. Plan générique du meuble V0	A17
Figure A-85. Plan générique du meuble VF.....	A17
Figure A-86. Fonctions d'appartenance pour la variable "Type de fabrication".....	A20
Figure A-87. Fonctions d'appartenance pour la variable "Comp_Objet"	A23
Figure A-88. Fonctions d'appartenance pour les autres variables "Complexité"	A23
Figure A-89. Fonctions d'appartenance pour les variables "Proximité"	A24
Figure A-90. Fonctions d'appartenance pour la variable "Type de transaction"	A24
Figure A-91. Fonctions d'appartenance pour la variable "Nombre de participants"	A24
Figure A-92. Fonctions d'appartenance pour la variable "Fréquence d'interaction"	A25
Figure A-93. Fonctions d'appartenance pour les variables "Niveau compétence technique" ..	A25
Figure A-94. Fonctions d'appartenance pour les variables "Signature de compétence".....	A25

TABLE DES TABLEAUX

Tableau I-1 Problématiques de recherche en conception.....	16
Tableau II.2. Typologie des axes de pilotage des compétences (Boucher &al., 2006)	46
Tableau II-3. Taxonomie des objectifs pédagogiques (Bloom 1956)	62
Tableau II-4. Adaptation de la taxonomie de Bloom (Pépiot 2005)	62
Tableau III-5. Typologie des "rôles spécifiques".....	89
Tableau V-6. Caractéristiques de la situation et composants de la compétence.....	136
Tableau V-7. Règles d'inférence pour le "niveau de connaissances techniques support"	145
Tableau V-8. Règles d'inférence pour la signature sur l'axe Analyse.....	145
Tableau V-9. Principales méthodes pour le calcul du moteur d'inférences	147
Tableau V-10. Niveaux des connaissances associées à l'activité "réalisation des plans"	153
Tableau A-11. Récapitulatif des travaux dédiés au pilotage de compétences	A2
Tableau A-12. Typologie des démarches cognitives de L. D'HAINAUT	A5
Tableau A-13. Classification de Michel et Ledru.....	A5
Tableau A-14. Attributs et méthodes	A11
Tableau A-15. Description des activités associées au processus de conception technique	A16
Tableau A-16. Récapitulatif des activités associées au processus conception technique	A16
Tableau A-17. Différentes formalisations des opérateurs flous T-norme et S-norme	A22
Tableau A-18. Règles d'inférences pour les connaissances techniques objet	A26
Tableau A-19. Règles d'inférences pour les connaissances techniques support	A26
Tableau A-20. Règles d'inférences pour la capacité d'analyse	A27
Tableau A-21. Règles d'inférences pour la capacité d'organisation.....	A27
Tableau A-22. Règles d'inférences pour la la capacité décisionnelle.....	A28
Tableau A-23. Règles d'inférences pour la capacité relationnelle.....	A28

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Les évolutions technologiques, les contraintes économiques et la concurrence mondiale de plus en plus rude poussent les entreprises d'aujourd'hui à chercher de nouvelles solutions pour rester performantes et maintenir leur avantage sur les marchés. Pour cela, elles doivent sans cesse développer de nouveaux produits innovants, avec une meilleure qualité, avec des coûts de revient faibles et des délais réduits de mise sur le marché.

La recherche de performance impose à l'entreprise plus de flexibilité dans son organisation de travail, une meilleure maîtrise des technologies émergentes mais surtout une meilleure considération de ses ressources humaines. En effet, au début de la révolution industrielle, les entreprises ont parié sur la technologie comme seul vecteur de progrès et de performance. Les formes organisationnelles découlant de ce mode de raisonnement étaient figées et traitaient la ressource humaine au même titre que les autres ressources matérielles. Ce pari a montré ses limites depuis les années 80. Tous les acteurs, industriels et scientifiques, s'accordent à dire aujourd'hui que la création de la valeur et l'obtention de la performance ne peuvent se faire sans l'implication de l'ensemble des acteurs de l'entreprise, détenteurs de connaissances et développant leurs compétences individuelles et collectives.

Les travaux concernant l'ingénierie et la gestion des connaissances, développés ces deux dernières décennies, sont une conséquence de cette prise de conscience relative au rôle incontournable des ressources humaines dans les organisations. Les études de Nonaka et Takeuchi sont parmi les premières à souligner l'importance de sauvegarder le réservoir des connaissances dans une organisation. C'est ce que Grundstein a qualifié de capital immatériel devant être repéré, préservé, valorisé et actualisé en permanence pour garantir la pérennité des savoir-faire critiques des experts et pour les partager entre les acteurs.

Plus récemment, le concept de compétence a remplacé la vision classique de la qualification et s'est imposé comme un facteur incontournable de la performance. Ce concept a permis une meilleure intégration du potentiel humain dans la définition des stratégies de l'organisation. Dans les années 90, Prahalad et Hamel ont montré qu'il était désormais nécessaire pour les entreprises de se considérer comme des "productrices de compétences distinctives" et qu'elles doivent veiller au développement et à la pérennité de ces compétences.

Le domaine de la conception est l'un des domaines les plus concernés par ces nouvelles évolutions en raison de la complexité croissante du processus, de la position centrale que joue la conception dans la chaîne de création de la valeur et du caractère fortement cognitif et collectif de l'activité de conception.

Notre but est de contribuer au pilotage des activités de conception. Le pilotage d'un système socio-technique s'intéresse à tous les processus et **moyens** mis en œuvre par ce système pour garantir le maintien, voire l'amélioration, de sa performance et son adaptation par rapport aux changements de l'environnement. Notre travail de thèse s'articule globalement autour de trois thèmes : gestion des **connaissances** et pilotage des **compétences** dans le domaine de la **conception**. Plus précisément, nous proposons une aide à la traçabilité des activités de conception permettant, par la suite, une caractérisation des compétences.

Les évolutions des normes qualité placent les compétences au cœur de ces **moyens** et confirment que la politique du pilotage d'un système industriel doit être étroitement liée au pilotage de ses compétences. Le pilotage des compétences s'intéresse à tout ce qui peut contribuer à la production, à la mise en œuvre et au développement de compétences spécifiques. Il met en évidence le rôle clé des ressources humaines dans l'entreprise qui doit modifier le contexte organisationnel pour permettre à l'acteur humain d'être plus efficace. Ceci est possible parce que l'émergence d'une compétence est à l'intersection entre des capacités individuelles d'un côté et une situation de travail de l'autre.

La «situation de travail» dépasse largement le cadre du seul «poste de travail». C'est un cumul de paramètres caractéristiques (équipements, matière ou information à transformer, travail d'équipe, contraintes, critères de performances, réglementations, etc.) définissant les conditions d'exercice de la mission d'un acteur. De même, une situation de travail est complexe et peut constamment évoluer dans le temps. Une réponse à cette complexité peut être amenée, à notre avis, par une analyse des interactions produites durant l'activité.

Nous pensons que, pour apporter une contribution significative à la problématique du pilotage des compétences, il est nécessaire de recourir à un modèle qui permette de faire le lien entre la compétence et les ressources qui la composent d'une part, et entre la compétence et la situation où cette compétence évolue, d'autre part. La situation devient de ce fait une forme de connaissance particulière qu'on doit capitaliser et valoriser pour agir sur la compétence.

Nous considérons la compétence comme un système attaché à une situation, pour lequel on peut identifier des composants et des interactions entre ces composants. Ce qui doit nous permettre, à partir d'une analyse d'une activité et d'une caractérisation de la situation correspondante, d'estimer des caractéristiques associées à cette compétence. Ceci correspond à notre contribution à l'"aide au pilotage des compétences".

Il est nécessaire pour cela de disposer en amont d'un outil adéquat pour récupérer et structurer les données nécessaires à l'analyse de l'activité et la situation de travail correspondante. Ceci nous conduit à proposer un cadre conceptuel et des modèles de la situation pour une traçabilité

des activités de conception, ce qui correspond à notre contribution sur un axe "gestion des connaissances".

Ce rapport de thèse est structuré en cinq chapitres.

Dans le premier chapitre, nous mettons en évidence les caractéristiques majeures de la conception, qui nous permettent de structurer différentes catégories de travaux scientifiques visant à l'amélioration de la performance en conception. En particulier, nous présentons un état de l'art sur les modèles et méthodes de traçabilité afin de positionner notre contribution dans le domaine de la "gestion des connaissances" en conception.

Le deuxième chapitre est consacré à présenter des travaux en relation avec le "pilotage des compétences". Nous revenons dans ce chapitre sur le concept de compétence, ses propriétés, sa relation avec les concepts voisins de qualification, données et connaissances. Nous présentons un modèle théorique issu de travaux récents de notre équipe. Ce modèle est à la base de notre approche et répond à notre besoin d'un support théorique qui permette de faire le lien entre la compétence et la situation de travail. Dans la suite du chapitre, nous présentons un état de l'art sur les différents travaux dédiés au pilotage des compétences. Nous terminons par un positionnement qui montre l'intérêt de la caractérisation des compétences pour le pilotage et nous présentons la structure de notre démarche.

Le troisième chapitre est consacré au développement du cadre conceptuel de notre approche de traçabilité. Nous discutons des caractéristiques de la situation telles que nous les avons identifiées dans la littérature. Nous proposons dans ce chapitre de définir la situation à travers les concepts d'entité, d'interaction et de rôles spécifiques qui traduisent la contribution des entités dans les interactions. Dans la dernière partie de ce chapitre, nous insisterons sur la distinction fondamentale, que nous faisons dans nos modèles, entre les concepts décrivant la prescription (tâche, mission, processus) et ceux décrivant la réalisation (projet, activité).

Le quatrième chapitre est consacré à proposer une modélisation de la situation de conception basée sur notre cadre conceptuel. Pour réaliser cet objectif, nous avons utilisé l'outil de modélisation UML et plus particulièrement les diagrammes statiques de classes et d'objets qui nous ont semblé pertinents pour notre besoin. A la fin du chapitre, nous terminons par notre démarche générale de construction de ces modèles pour la traçabilité.

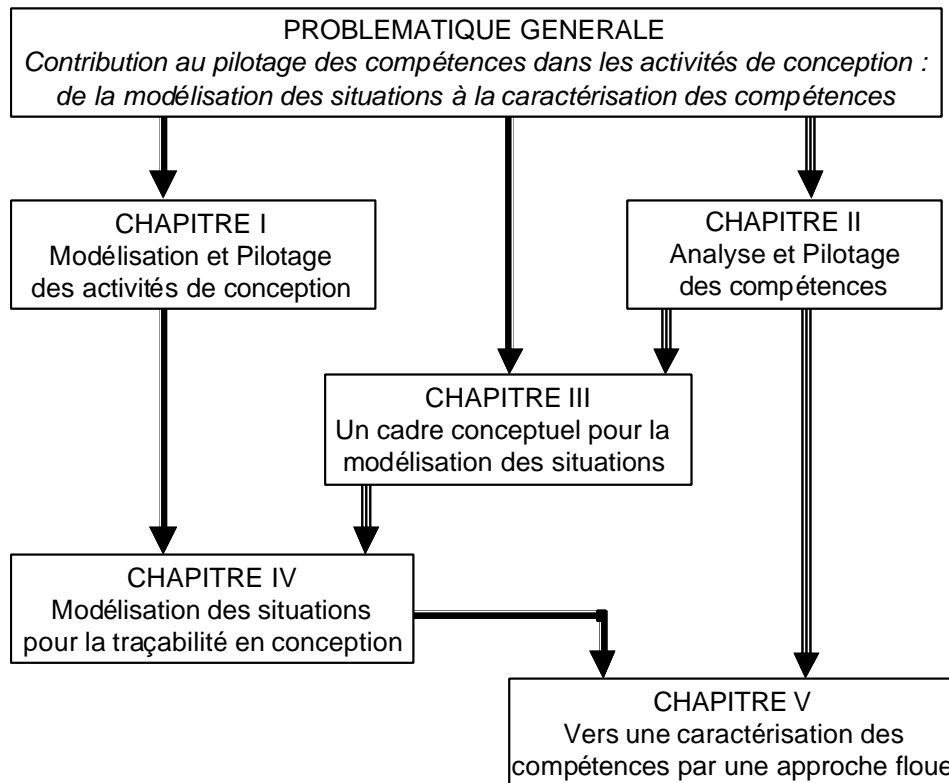
Dans le dernier chapitre, nous proposons une approche de caractérisation des compétences à partir de traces réelles de l'activité de conception. Cette approche repose sur la définition de variables qualitatives pour caractériser la situation de travail et sur la théorie de la logique floue pour tenter de reproduire le raisonnement de l'expert manager dans sa mission de caractérisation des compétences.

Nous avons appliqué notre approche, dans une entreprise de fabrication de meubles, sur un projet de conception d'un meuble TV en bois, afin de vérifier nos hypothèses de départ et de

montrer les possibilités d'application de tels modèles et méthodes. Nous présentons des extraits de cet exemple dans les chapitres IV et V.

Finalement, nous concluons sur les apports de notre contribution, selon notre point de vue. Nous tenterons d'identifier les limites et les perspectives à envisager pour donner suite à ce travail dans le futur.

En dernier lieu, les annexes présentent divers compléments du rapport.



Plan du rapport

Chapitre I

Sommaire du chapitre I

I. Les activités de conception.....	6
I.1. Principales caractéristiques de l'activité de conception	8
I.2. La construction progressive des prescriptions et des résultats	10
I.3. La collaboration en conception.....	11
I.4. La conception mobilisatrice et génératrice de connaissances et de compétences	12
II. Sur l'amélioration des performances des activités de conception.....	13
III. Traçabilité des activités de conception	17
III.1. Méthodes génériques de capitalisation	18
III.2. Modèles spécifiques en conception.....	19
III.2.1. Les modèles du produit	20
III.2.2. Les modèles processus	21
III.2.3. Modèles de traçabilité des décisions	24
IV. Bilan et positionnement	27

CHAPITRE I

MODELISATION ET PILOTAGE DES ACTIVITES DE CONCEPTION

Depuis très longtemps, l'Homme fabrique des produits pour répondre à ses besoins (ex. des outils pour la chasse, pour la cuisine, pour labourer, ...). Progressivement, ces besoins ont évolué et parallèlement, les produits se sont complexifiés suivant le cours des (r)évolutions technologiques. Les méthodes de conception ont à leur tour évolué pour répondre à cette complexité croissante dans une logique d'amélioration de la qualité, de diminution du coût global du produit et de réduction des délais de sa mise sur le marché. Ainsi, par exemple, si les premières automobiles ont été conçues, fabriquées et assemblées par quelques personnes seulement, aujourd'hui, un tel projet mobilise des milliers de personnes organisés dans différentes équipes.

Le domaine de la conception a été exploré par de nombreux chercheurs pour développer de nouveaux outils et méthodes pouvant aider les concepteurs à améliorer leurs performances. Des méthodologies voire une science de la conception [Perrin 2001], [Forest & al., 2005] ont été développées, supportées par des concepts, des modèles, des règles et des normes, faisant appel à des domaines disciplinaires variés. Le pilotage des activités de conception a pris une place croissante avec d'une part, l'arrivée de méthodes de planification de grands projets dès les années 60 et d'autre part, avec la recherche d'organisations de conception plus cohérentes avec les nouveaux objectifs des projets de développement de nouveaux produits (par exemple, organisations matricielles et par projet).

Ce premier chapitre vise à décrire le domaine de la conception de produit et à positionner globalement l'objectif de notre travail. Nous présentons d'abord la définition et les caractéristiques du processus de conception. Nous insistons sur les caractères itératif, progressif et interactif de l'activité de conception (construction progressive à la fois des objectifs et des résultats par confrontation de multiples points de vue). Nous présentons ensuite une synthèse de différents travaux orientés vers l'amélioration des performances des activités de conception que nous structurons selon différentes caractéristiques. Notre état de l'art portera en particulier sur la modélisation et la traçabilité des activités de conception. Nous terminons ce chapitre par un bilan général et un premier positionnement de notre problématique. Ce positionnement sera affiné à la fin du chapitre II.

I. LES ACTIVITES DE CONCEPTION

Fondamentalement, la conception est considérée comme une activité intellectuelle très complexe. Elle est définie en psychologie cognitive comme une démarche de résolution de problème [Simon 1991]. La conception peut être définie comme un processus de création et de définition d'un produit en réponse à un ensemble de fonctions que doit remplir ce produit. Cette définition doit en outre satisfaire un ensemble de contraintes provenant de sources différentes. Elles peuvent être imposées par le problème, par le concepteur, par le fabricant, par l'utilisateur, par des lois physiques... C'est une activité qui consiste à mettre en œuvre un ensemble d'idées, de connaissances et de ressources afin de définir un produit et ses systèmes associés (systèmes de production, de maintenance, ...) pour satisfaire des besoins déterminés.

La norme AFNOR X50-127 définit le processus de conception de la façon suivante : « *partant des besoins exprimés, le processus de conception définit pas à pas le produit qui doit répondre aux besoins et aux attentes par des choix successifs portant sur des points de plus en plus détaillés* ». La tâche du concepteur revient donc à transformer un besoin client, exprimé en termes de fonctions, en une description détaillée et suffisamment complète du produit. La description finale du produit est généralement représentée sous diverses formes : physique (maquette), graphique (plan), numérique ou simplement textuelle.

On distingue trois types de conception selon l'objectif, la disponibilité des connaissances au début du projet, la structuration du plan d'action et le degré d'autonomie et de créativité du concepteur [Perrin 1999], [Brown 1984] :

- La conception routinière. Elle représente le cas où les connaissances à exploiter sont clairement identifiées et les objectifs sont globalement connus. Les plans d'action sont aussi globalement connus et l'autonomie créative du concepteur est limitée. Il s'agit surtout de choisir parmi les solutions existantes les meilleures pour répondre à de nouveaux problèmes dans le même contexte (produit semblable déjà réalisé).
- La conception innovante. Elle porte sur un produit connu. Les connaissances et les objectifs de départ sont globalement connus. Ils correspondent généralement à un nouveau besoin exprimé par des clients. Par contre, les plans d'action ou les démarches du concepteur sont indéterminés. Le problème revient donc à définir les meilleurs plans d'action permettant d'arriver à ces objectifs tout en complétant la construction de ces objectifs.
- La conception créative. C'est le cas le plus complexe où ni les connaissances de départ ne sont disponibles, ni les plans d'actions ne sont déterminés au préalable. En d'autres termes, la conception créative naît d'une idée (mise en œuvre d'une invention ou d'une nouvelle technologie, par exemple) qui généralement fait l'objet d'une étude de faisabilité, permettant de décider du lancement d'un projet d'innovation. Les objectifs à atteindre, les fonctions du produit et le plan d'actions seront construits au fur et à

mesure de l'avancement du projet. Les modélisations, simulations, prototypages et expérimentations permettront de développer de nouvelles connaissances.

Dans la réalité, la distinction entre ces trois types de conception n'est pas toujours évidente. Par exemple, un projet de conception automobile peut intégrer le résultat de sous-projets de conception de modules. A un sous-projet de conception innovante correspond alors une alternative moins risquée de conception routinière, qui revient à adapter une solution existante, pour limiter les risques d'échec du projet global.

Dans leur ouvrage, [Pahl & al., 1996] ont proposé un modèle théorique structurant le déroulement progressif du processus de conception. Ce modèle qui comporte quatre phases a prouvé son efficacité et a été pris comme base de référence par différentes entreprises et centres de recherches et développement. La norme AFNOR s'est basée sur ce modèle pour élaborer les définitions standards du processus de conception. Par la suite, chaque entreprise a apporté ses propres modifications selon les spécificités de ses activités et de son produit. Comme le montre la figure (I-1), le modèle inclut quatre phases itératives et non linéaires :

- L'analyse et la clarification du besoin (*Product planning and clarifying the task*) permet de ré-exprimer ce dernier par un langage technique, compréhensible par l'ensemble des acteurs de conception. Le cahier des charges, résultat de cette phase, regroupe toutes les spécifications fonctionnelles portant sur le produit attendu.
- La conception de principe (*Conceptual design*) vise à spécifier l'ensemble des principes technologiques et solutions envisageables pour répondre au cahier des charges. Cette phase est complétée par une analyse fonctionnelle technique puis une évaluation de toutes les solutions et les principes trouvés afin de ne retenir que les meilleurs.
- La conception d'ensemble (*Embodiment design*) s'intéresse à concrétiser la solution retenue en commençant par mettre au point les grands axes de la solution adoptée (plans préliminaires) puis, par la suite, améliorer progressivement cette solution. Il s'agit de donner la structure générale, de faire les calculs et dimensionnements de base puis de regrouper les plans d'ensemble.
- La conception de détail (*Detail design*) consiste à réaliser les dernières modifications sur la structure du produit, à déterminer et dimensionner tous ses composants ainsi que toutes les liaisons qui les relient et enfin à définir les moyens et les modes de production. A la fin de cette étape, le dossier produit est finalisé. Des tests de fiabilité par expérimentations sur prototype peuvent être effectués en complément.

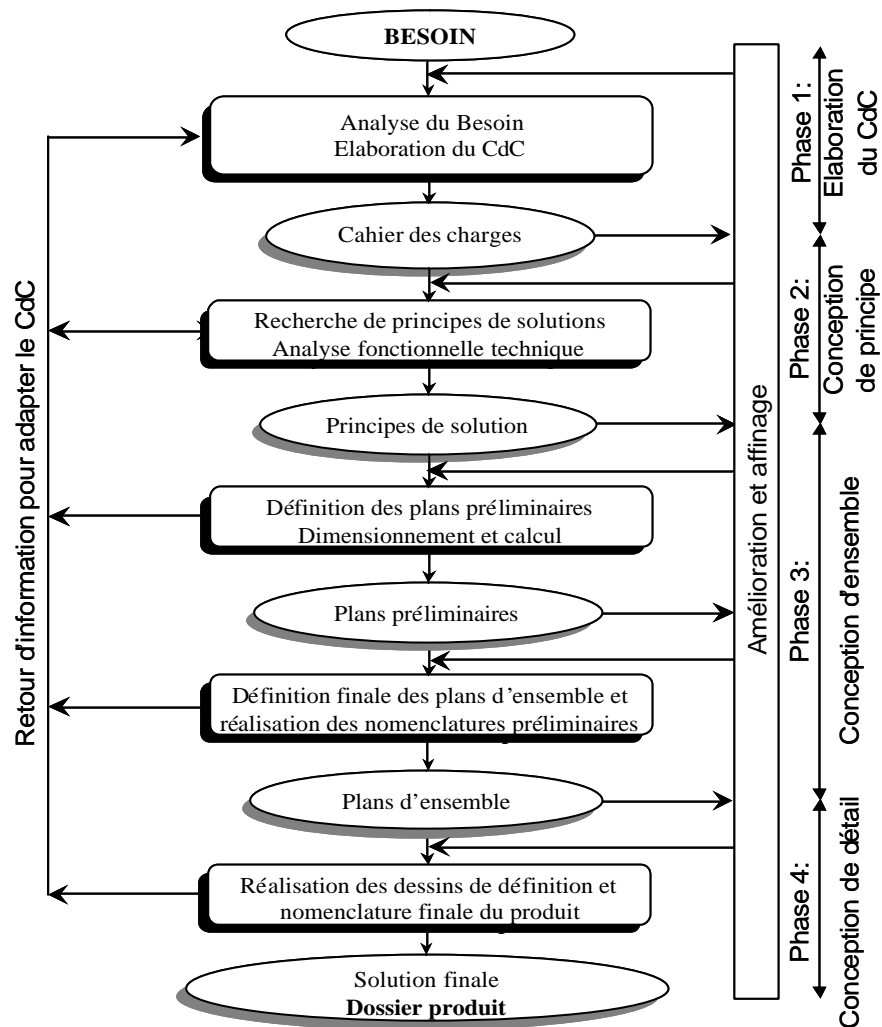


Figure I-1. Modèle du processus de conception (Pahl & al., 1996)

I.1. Les principales caractéristiques de l'activité de conception

La conception est une activité complexe. Ses caractéristiques ont été mises en évidence par plusieurs chercheurs, [Blanco 1998], [Lhote & al., 1999], [Darses, 2001], [Perrin, 2001], [Micaëlli & al., 2003], ... Nous pouvons retenir les points suivants :

- La conception est une activité créative, projective et complexe. Le contenu du problème de conception est d'imaginer, de réaliser et de valider une solution préférable à un existant jugé insatisfaisant. Il fait intervenir des contraintes hétérogènes, nombreuses, conjonctives, mal définies, évolutives. Il doit être résolu en temps fini, si bien que les solutions proposées sont plus ou moins acceptables : il n'existe pas de solution unique "la meilleure" et il n'y a pas de chemin prédéterminé pour arriver à cette solution.

- La conception est une activité instrumentée, qui repose sur différentes représentations (modèles, schémas, maquettes, prototypes ...) d'objet n'existant pas encore et à venir. Cette instrumentation doit aussi permettre aux concepteurs de gérer les diversités marketing, techniques et industrielles (familles de produits, modules, plateformes ...).
- La conception repose sur un processus informationnel de caractère progressif, itératif et interactif. Le système à concevoir est développé, c'est à dire imaginé, réalisé, affiné, etc., pas à pas. Le concepteur doit répéter plusieurs fois certaines tâches pour ajuster les valeurs des solutions. La conception est un processus au cours duquel il y a en permanence interactions entre les acteurs et productions d'objets intermédiaires. Le rôle de ces objets intermédiaires comme le montre [Blanco, 1998] est principalement de garder une trace au cours du projet de conception et de servir comme moyen de compréhension entre les différents acteurs.
- La conception est un processus de décisions. Elle nécessite de multiples prises de décisions, choix et arbitrages à toutes les phases. On peut distinguer les décisions techniques qui portent sur les choix de solutions, les décisions de gestion de conflit, les décisions de revues de projet, les décisions de management... La plupart du temps ces décisions sont critiques, car à la fois incertaines et coûteuses ou faiblement réversibles.
- La conception est une activité cognitive, requérant, manipulant et générant des connaissances. Celles-ci portent autant sur l'objet conçu (connaissances techniques) que sur le processus de conception, son organisation ou son pilotage.
- Les activités de conception sont organisées. La conception de systèmes complexes requiert une structuration des processus permettant de satisfaire les attentes des clients et une mobilisation organisée de nombreux acteurs appartenant à des Métiers ou des départements différents. L'organisation de la conception est le résultat d'une activité de conception d'organisation menée essentiellement par les managers.
- Les activités de conception sont gérées. La gestion de projet, au niveau opérationnel, permet de planifier l'avancement des activités, de faire le suivi des performances (mesure des écarts entre résultats réels et objectifs prévisionnels), de valider les résultats par des revues de projet et de prendre des mesures correctives en cas de dérives.
- La conception est une activité qui mobilise et développe des compétences. Les managers ne doivent pas seulement assurer l'affectation adéquate des concepteurs aux tâches de conception ou la gestion opérationnelle des projets. Ils doivent aussi concevoir et piloter un processus de développement des compétences assurant la compétitivité future de l'entreprise.
- La conception fait l'objet d'une double évaluation : de résultat et de suivi. Dans le premier cas, l'activité de conception peut être évaluée à partir de différents critères :

niveau d'innovation, respect des contraintes du problème de conception, développement de compétences, ... Dans le deuxième cas, l'évaluation sert à orienter le projet et à gérer l'incertitude inhérente au problème (triptyque Qualité, Coût, Délai, robustesse de la solution, rang de maturité ...). Le concepteur doit pouvoir estimer la robustesse de la solution technique en cours, face à d'éventuels changements sur les contraintes et mesurer la maturité du processus de conception.

Une conséquence de la complexité de l'activité de conception est que cette activité est rarement individuelle mais présente, comme nous le verrons ci-après, un caractère collectif avec des interdépendances souvent fortes entre des acteurs qui proviennent d'univers disciplinaires différents et la nécessité d'intégrer de multiples points de vue (cognitif, technique, social, économique, organisationnel, ...). Deux autres caractéristiques majeures sont aussi à considérer. Elles concernent respectivement la distinction prescriptions - résultats et la mobilisation d'un nombre élevé de connaissances et de compétences variées. Répondre à cette complexité nécessite le développement de méthodes et d'outils afin d'aider les concepteurs à améliorer les performances de leurs activités.

I.2. La construction progressive des prescriptions et des résultats

Une caractéristique fondamentale de l'activité de conception concerne la non détermination et l'incomplétude des objectifs (ou du problème à résoudre) au départ de l'activité, en particulier dans le cas de conception innovatrice ou créative. Comme le précise [Darses, 2001], les problèmes à résoudre en conception sont souvent ouverts et non définis complètement au départ. On ne peut pas distinguer totalement deux phases consécutives du processus de conception (analyse et résolution du problème) du fait que ce processus est de nature itérative impliquant des zones d'interactions permanentes entre les centres de décision amont et aval pour chaque étape du processus.

Dans ce sens, l'activité de conception peut être assimilée à un système de poursuite tendant vers une consigne définie par les objectifs, la consigne étant elle-même construite progressivement et convergeant vers une valeur finale à la fin du projet (ou d'une activité). Il s'agit là d'une situation de poursuite étalée sur trois principales étapes :

- La définition du besoin client. L'acteur doit obtenir progressivement à travers un processus collaboratif une clarification suffisante des prescriptions (traduction des objectifs en termes de mission, tâches, processus. C.f. chapitre III) et s'assurer de leur faisabilité.
- Le cœur de l'activité concerne l'organisation et la mise en œuvre de ressources pour atteindre les objectifs. Au fur et à mesure du déroulement de l'activité (ou du projet), des résultats intermédiaires sont obtenus et un processus d'évaluation est élaboré en

parallèle pour vérifier les hypothèses, valider des choix techniques par rapport aux prescriptions, compléter la définition du produit...

- La phase de finalisation concerne l'ajustement des résultats autour de la valeur finale des objectifs stabilisés. Cette phase se caractérise par la sélection définitive de certaines alternatives de solutions, par la finalisation des compromis et par la détermination complète de tous les paramètres de la solution technique. A la fin de cette phase, la valeur des résultats se stabilise avec, éventuellement, un écart par rapport à la valeur finale des objectifs. Cet écart traduit la performance de l'acteur chargé de la mission.

Notons enfin que le déroulement du processus de conception s'accompagne d'un processus itératif d'interactions sur deux dimensions : définition des prescriptions et réalisation des activités. Ce travail passe par la détermination de critères permettant de préciser les prescriptions à partir des objectifs à atteindre. Ces critères seront utilisés pour l'évaluation des performances après la réalisation des activités et pour juger si les prescriptions sont bien satisfaites. La caractéristique fondamentale (prescriptions-résultats) montre la nécessité d'avoir une double représentation d'un projet de conception, l'une par rapport à ses objectifs (les processus de définition, d'évolution, de modification et de compromis,...) et l'autre par rapport à la démarche suivie pour l'obtention des résultats (réalisation des activités).

I.3. La collaboration en conception

La conception est considérée à l'unanimité comme une activité collective qui se construit dans un "rapport de prescriptions réciproques" [De Terssac, 1996]. Chaque acteur élabore sa propre représentation du problème à résoudre et traite en fait un problème qui sera spécifique à son niveau. Toutefois, des zones de représentation communes sont nécessaires pour avoir une cohérence lors de l'intégration au niveau global [Perrin, 1999]. Les identités ou sujets de la conception proviennent d'univers disciplinaires et culturels différents nécessitant des mécanismes de compréhension communs. La satisfaction des besoins requiert l'interaction avec les prescripteurs de ce besoin.

Le rôle de la coopération est déterminant dans les processus de conception [Boujut, 2000]. Un effort collectif est indispensable de la part de tous les acteurs de l'équipe de conception. Ces efforts doivent être coordonnés efficacement. De ce fait, les nouvelles approches, dites globales, de la conception doivent prendre en compte plusieurs aspects résumés selon [Bernard 2000] en quatre points :

- une meilleure intégration entre les modèles du produit pour éviter les conflits,
- une intégration des contraintes de fabrication et d'utilisation dès la conception,

- la prise en compte de l'avis du consommateur ainsi que des aspects économiques et socio-techniques, dès la réalisation du Cahier des Charges et enfin,
- l'intégration du caractère distribué et multi points de vue de la conception.

Différents objectifs de la coopération en conception peuvent être identifiés, à savoir :

- Obtenir une meilleure qualité de l'organisation du projet, et par conséquent une meilleure gestion de ce dernier. Cette organisation tente au mieux d'optimiser l'efficacité de toutes les compétences qui interviennent.
- Disposer du maximum d'informations et de connaissances disponibles dans l'entreprise et à l'extérieur de l'entreprise. Ces connaissances sont distribuées sur différents niveaux et détenues par différents acteurs de métiers différents [Mer &al., 1998].
- Harmoniser les décisions (coordination et synchronisation) entre les différents centres coopérants afin de prendre en compte l'impact d'une décision issue d'un centre amont sur un centre aval et inversement, le retour d'informations vers un centre amont suite à une décision donnée d'un centre aval.
- Contribuer à l'intégration et à la régulation de la dynamique des métiers participant à la conception. Cette dynamique est souvent perturbée par trois facteurs [Lefebvre &al., 2002] : la dynamique des connaissances, la création de nouvelles compétences et l'influence de l'identité et du parcours professionnel de chaque concepteur.

Cependant, et malgré l'intérêt donné à l'aspect collaboratif en conception, on constate une difficulté à trouver un glossaire unifié dans ce domaine. Le terme "coopération" est utilisé dans des sens différents et plusieurs typologies des formes collaboratives sont ainsi proposées, selon les disciplines et les besoins [De La Garza &al., 2000].

I.4. La conception mobilisatrice et génératrice de connaissances et de compétences variées

Pour une réussite du projet de conception, le(s) concepteur(s) mobilise(nt) un nombre très élevé de connaissances relatives à la description du produit et des processus, aux méthodes et procédures de conception, aux contraintes du projet, ...

L'activité de conception ne se limite pas à une mobilisation de connaissances et compétences acquises pendant la formation ou par l'expérience, mais est aussi une production de nouvelles connaissances et de construction de nouvelles compétences à partir des différentes interactions collaboratives. La compétence d'un acteur de la conception dépend, dans ce sens, en partie de celles des autres individus avec lesquels il collabore.

II. SUR L'AMELIORATION DES PERFORMANCES DES ACTIVITES DE CONCEPTION

De nombreux travaux de recherche prennent pour objet la conception. Ceux-ci s'intéressent à différents aspects de cette activité : quelle est sa nature ? Existe-t-il des invariants la concernant ou présente-t-elle de très fortes disparités sectorielles ? Qui en sont les acteurs ? Comment est-elle structurée ? Pilotée ? Evaluée ? Quels sont les outils ou les modèles utilisés par le concepteur pour la mener à bien ? Quels seraient les outils ou modèles susceptibles d'améliorer la pertinence et la cohérence des organisations de conception sur des dimensions comme la qualité, l'efficacité (réduction du coût, des délais et des risques de développement), l'innovation, etc. ? Les thèmes abordés par les théoriciens du domaine sont donc si variés qu'il est impossible de tous les traiter. Aussi limiterons-nous notre étude bibliographique au développement de modèles, de méthodes et d'outils permettant d'améliorer le pilotage et les performances des activités de conception. Même restreint, notre champ de recherche bibliographique reste large, puisque de nombreux théoriciens, écoles, courants de recherche, etc., visent à proposer une aide au concepteur opérationnel, dans son activité technique de conception (création, réalisation, intégration et validation de solutions techniques), et au chef de projet, dans son activité de pilotage des activités des concepteurs (conception et pilotage de l'organisation).

Nous avons choisi de structurer les différentes thématiques à partir des caractéristiques de la conception que nous avons mises en évidence précédemment (figure I-2). Nous ne prétendons pas à une exhaustivité des thèmes retenus mais plutôt à un positionnement de notre contribution.

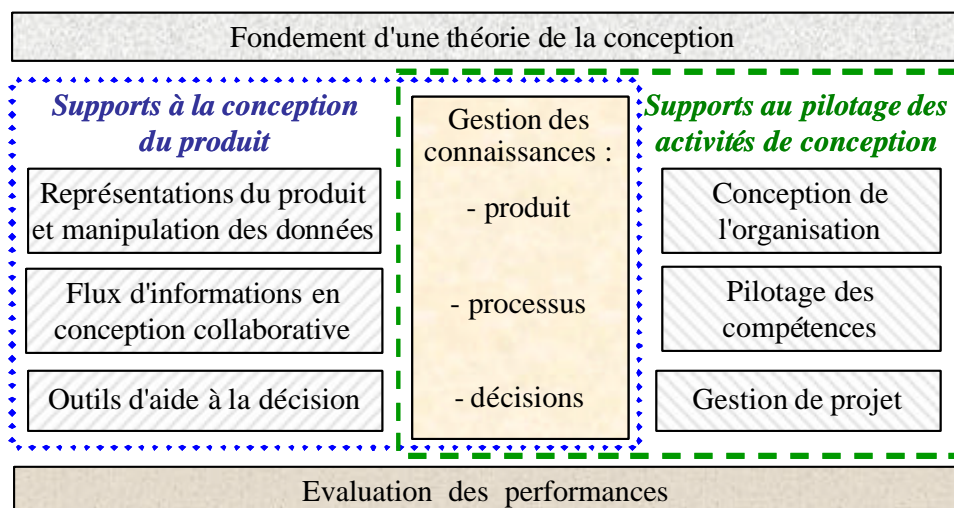


Figure I-2. Différents thèmes de recherche en conception

Les travaux dédiés à la théorie de la conception concernent l'analyse de l'activité de conception afin d'interpréter sa complexité et de proposer des modèles théoriques facilitant sa compréhension. Nous pouvons mentionner dans ce thème des travaux tels que la théorie C-K de [Hatchuel &al., 2002] qui considère le raisonnement de conception comme une co-évolution par interactions d'un espace de concepts et d'un espace de connaissances, l'approche systématique de conception développée dans [Pahl &al., 1996], l'approche artificialiste de la conception [Micaëlli &al., 2003], les aspects collaboratifs en conception [Sonnenwald 1996], le concept de tâches génériques [Chandrasekaran 1990], l'aide à la créativité par la méthode Triz [Dubois &al., 2003], ...

La catégorie "supports à la conception de produit" (et de ses systèmes associés : système de production, système de maintenance ...) vise à fournir une aide principalement technique à l'activité du concepteur. Nous retenons les trois thèmes suivants :

- Développer des outils de représentations du produit et de manipulation des données. Il s'agit de supports techniques tels que les outils de CAO, de calcul et de simulation bien spécifiques à chaque domaine [Hadj-Hamou &al., 2002], des systèmes de gestion des données techniques (SGDT) [Bouchard &al., 1997], etc., ... Ce thème s'intéresse aussi, par exemple, à la gestion de la diversité des produits avec le développement d'outils et méthodes de conception de famille de produits (par exemple, des configureurs).
- Développer des supports aux flux d'informations en conception collaborative, de type collecticiels, workflows ou CSCW [Boujut &al., 2002], [Shen &al., 2006], [Blanco &al., 2002]. Les collecticiels fournissent un environnement informatique partagé pour couvrir l'ensemble des besoins de l'équipe de conception [Quesada &al., 2003].
- Fournir des outils d'aide à la décision technique avec des méthodes d'optimisation et d'analyse multi-critères [Yannou &al., 2006], par exemple, la méthode des rough sets [Renaud &al., 2003], [Renaud 2006].

La deuxième catégorie concerne les "supports au pilotage des activités de conception". Comme cette catégorie a fait l'objet d'un grand nombre de travaux, nous retenons volontairement uniquement trois thèmes :

- La conception de l'organisation revient à la construction des structures organisationnelles [Poveda, 2001] pour répondre aux objectifs de conception. Elle consiste à concevoir des systèmes auto-régulés et créer les conditions d'auto-organisation de ce système, c'est-à-dire la capacité du système à s'adapter de lui-même à des phénomènes imprévus [Genelot 1992]. La conception de l'organisation se fait en continue, elle est initialisée à chaque fois que se pose de nouveaux problèmes, ou besoins, de coordination entre des acteurs hétérogènes. Une organisation étant un artefact particulier, le processus de conception d'une organisation peut être décrit de la même manière que le processus de conception d'un produit [Forest &al., 2005]. Dans

ce sens, le pilotage de l'organisation est un terme plus **générique** que celui de gestion. Des travaux basés sur des représentations matricielles (comme par exemple des DSM, Design Structure Matrix) du produit, des processus et des acteurs ont pour objectif de coupler l'architecture du produit avec l'organisation des acteurs [Harmel & al., 2006], [Sosa & al., 2003].

- Le pilotage des compétences concerne l'identification et l'intégration des compétences et des métiers dans les processus de conception [Lefebvre & al., 2002], [Bonjour & al., 2001], [Boucher, 1999]. La conception mobilise selon [Hatchuel & al., 2002] trois grandes traditions de métiers à savoir : celle des architectes et des concepteurs, celle des ingénieurs et celles des chercheurs en sciences de l'organisation.
- La gestion de projet, synonyme de conduite de projet, revient à « *conduire l'ensemble des opérations nécessaires à l'étude, au développement et à la réalisation d'un projet* » [Midler, 1993]. Pour [Giard, 1991], la gestion de projet traite des décisions opérationnelles et de certaines décisions tactiques durant la préparation et l'exécution du projet. Elle a pour objectif d'apporter à la direction de projet les informations relatives à l'avancement de l'exécution du projet et à tout élément de nature à modifier la programmation du projet ou ses objectifs de délais, coûts et performances.

Nous avons placé la gestion des connaissances comme un thème charnière entre la conception technique et le pilotage des activités de conception car elle doit permettre la traçabilité, la structuration, le partage et la réutilisation des différents types de connaissances jugées critiques.

L'évaluation de performance est pour sa part un thème transversal car elle porte sur l'ensemble des processus impliqués dans la conception [Yannou & al., 2006], [Micaëlli 2003].

Nous entendons par pilotage à la fois l'organisation et la conduite. Le pilotage se définit habituellement sur 3 niveaux : stratégique (pour la formulation de stratégies, l'identification des compétences stratégiques, etc.), tactique pour la conception de l'organisation (structuration des processus et des ressources ; affectation des missions aux ressources etc.) et opérationnel pour la conduite (ou la gestion) des activités.

La compétence est indissociable de l'activité qu'elle permet de réaliser. Bien piloter les compétences de conception revient d'une part, à avoir une bonne compréhension de l'activité de conception et d'autre part, à prendre en compte ses caractéristiques dans la spécification d'un nouvel outil. D'un autre côté, un support à la traçabilité de l'activité de conception doit permettre de bien caractériser la compétence correspondante.

Le tableau I-1 présente une synthèse des différentes problématiques scientifiques en conception en correspondance avec les principales caractéristiques de la conception. La partie suivante présente un état de l'art sur la gestion des connaissances. Celui-ci est orienté vers les méthodes de capitalisation des connaissances et de traçabilité des activités de conception.

Caractéristique de la conception : activité...	Problématiques concernant cette caractéristique	Outils et méthodes concernant cette caractéristique
... complexe	Fondements d'une théorie générale ou d'une science de la conception. Qu'est-ce que la conception ? Comment valider les théories produites ? Etc.	méthodes de conception : QFD, CEM, AV, Ingénierie système...
... instrumentée (par différentes représentations du produit)	Instrumentation de l'activité du concepteur. Comment intégrer des contraintes hétérogènes et différents types de modèles manipulés par le concepteur ? Comment gérer la diversité ? Comment modéliser les architectures de produits ? Etc.	Outils : AF, CAO, SGDT, configurateurs... Méthodes : DFM, DFA ... Modèles de nature très variée : bond-graph, fonctions de transfert, DSM ...
... informationnelle à caractère progressif, itératif et interactif	Développement de supports pour les flux d'information. Comment intégrer les multiples points de vue et contributions individuelles ? Etc.	CSCW, work-flow, collecticiels
... décisionnelle	Outils d'aide à la décision de conception (complexité, incertitude et risque)	méthodes et outils d'aide à la décision : analyse multicritères, prise de décision avec risque ...
... cognitive (manipulant et produisant des connaissances)	Gestion des connaissances en conception. Comment assurer une meilleure traçabilité de connaissances servant à la conception et au pilotage de l'activité ? Etc.	Méthodes et outils de management des connaissances (KM, <i>knowledge management</i>) spécifiques à la conception
... organisée	Principe de structuration des activités de conception collective. Quelle forme d'organisation pour mieux développer les compétences, Etc.	modèles d'organisation (organisations matricielles, par projet, par l'Ingénierie système...) Etc.
... mobilisant et développant des compétences	Nature de la compétence de conception et de son pilotage. Comment caractériser les compétences de conception ? Comment les intégrer à tous les niveaux du pilotage ? Etc.	outils de GRH (GPEC, référentiels de compétences...)
... gérée	Outils de gestion opérationnelle de la conception. Quelle méthode de planification tenant compte des RH ? Etc.	Outils de planification et de suivi des performances d'un projet, Etc.
... évaluative	Nature de l'évaluation de performance. Comment concevoir un système d'évaluation de la performance adapté à l'activité du concepteur et du chef de projet ? Comment estimer la robustesse des solutions ? Etc	méthodes et outils d'évaluation amont (CdC fonctionnel, évaluation paramétrique, design to cost, etc.), indicateurs et tableaux de bord, Etc.

Tableau I-1 Problématiques de recherche en conception

III. TRAÇABILITE DES ACTIVITES DE CONCEPTION

La traçabilité et la capitalisation des connaissances en conception offrent aux concepteurs et aux chefs de projets la possibilité de structurer puis de réutiliser les informations et les connaissances passées et présentes afin de résoudre ultérieurement de nouveaux problèmes d'ordre technique (sur le produit) ou managérial (sur l'organisation de conception).

La gestion des connaissances est devenue un domaine de recherche à part entière [Studer &al., 1998]. Il ne s'agit pas d'une simple opération de stockage et d'archivage de données et d'informations mais plutôt d'une capture intelligente des différentes connaissances relatives aux différentes situations de vie de l'entreprise, une structuration de ces connaissances à travers des modèles variés et une meilleure exploitation de toutes ces connaissances par le partage au moment opportun entre les acteurs qui en ont besoin. [Grundstein 2001] a proposé un cycle de gestion de connaissances composé de quatre actions : repérage, préservation, valorisation et actualisation.

En conception, ce cycle se traduit par une double relation permanente entre l'activité des acteurs de conception et les mémoires de connaissances associées (figure I-3). Ces mémoires sont alimentées en permanence par des mécanismes de traçabilité de l'activité du concepteur (et/ou du manager). Le concepteur à son tour exploite les connaissances capitalisées pour les réutiliser dans des problèmes qu'il juge proches. Par son activité, le concepteur génère de nouvelles connaissances, qui pourront être traitées pour mettre à jour le contenu de la mémoire. Généralement, la mise à jour s'effectue après validation par un expert de la qualité des informations renseignées par le concepteur (exactitude, complétude, domaine de validité).

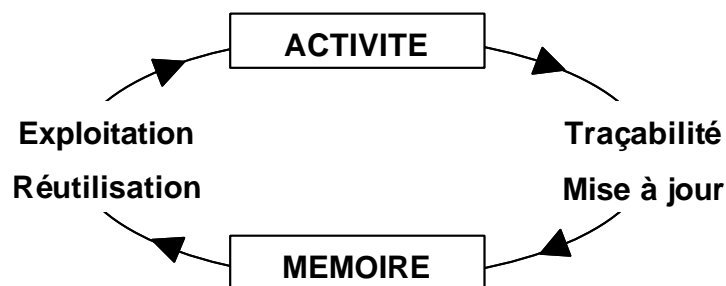


Figure I-3. Cycle traçabilité – exploitation en conception

Derrière les concepts de traçabilité et de capitalisation de connaissances, on retrouve le concept de mémoire d'entreprise [Barthès &al. 1999] qui se décline en plusieurs types : mémoire métier, mémoire organisationnelle, mémoire projet etc. La mémoire de projet est définie comme étant « une mémoire des connaissances et des informations acquises et produites au cours de la réalisation des projets ». Elle décrit l'historique et l'expérience acquise pendant la réalisation d'un projet en représentant ce dernier à travers sa définition, ses

objectifs, ses activités, son historique et ses résultats [Matta &al. 1999a]. Selon ces auteurs, la structure d'une mémoire de projet comprend deux grandes parties :

- Une description du contexte du projet et de tous les éléments présents au cours de son déroulement. Elle concerne d'une part, la description des ressources et des contraintes présentes dans l'environnement de travail et d'autre part, l'organisation du projet en termes d'objectifs, de tâches et de participants.
- Une description de la logique de conception à travers des informations concernant les problèmes rencontrés, les méthodes utilisées pour résoudre ces problèmes ainsi que les solutions et les décisions retenues au cours d'un projet de conception.

Plusieurs méthodes, génériques et spécifiques, de capitalisation de connaissances et de construction de mémoire d'entreprise, ont été développées dans la littérature [Liao, 2003], [Matta &al., 1999b]. Certains proposent des outils de conception collaborative pour aider à la capitalisation mais surtout au partage des connaissances du projet [Kvan &al., 2000]. Notre état de l'art se limitera à présenter les concepts de base de certaines méthodes génériques et de présenter quelques modèles dédiés à la structuration des connaissances en conception.

III.1. Méthodes génériques de capitalisation

Au niveau des méthodes génériques, la méthode KADS [Schreiber 1992] est l'une des méthodes les plus anciennes. Elle repose sur six modèles complémentaires :

- Le modèle de l'organisation décrit l'entreprise dans son ensemble.
- Le modèle de tâche décrit les tâches qui correspondent aux fonctions de l'organisation.
- Le modèle d'agent décrit les agents, impliqués dans la réalisation des tâches.
- Le modèle de communication rend compte de la communication homme-machine.
- Le modèle des connaissances modélise l'expertise nécessaire à la réalisation des tâches.
- Le modèle de conception traite plus spécifiquement de la conception et l'implémentation du système à base de connaissances.

La méthode "Componential Framework" [Steels 1993] propose de modéliser une activité de l'organisation selon trois perspectives :

- La tâche met en évidence les objectifs à atteindre.
- L'information définit les informations et les connaissances consultées et construites pour réaliser les tâches.
- La méthode décrit comment les informations ont été utilisées pour réaliser les tâches.

La définition de ces trois perspectives forme un cycle dans lequel chaque perspective évoque des connaissances à définir dans une autre perspective.

La méthode MKSM [Ermine &al., 1996] définit un cadre théorique structurant des applications de capitalisation des connaissances en milieu industriel. Cette méthode repose sur un "macroscope de la connaissance" décliné en cinq modèles complémentaires :

- Le modèle du système de référence définit les spécifications des objectifs.
- Le modèle du domaine spécifie le métier concerné par le système de connaissances.
- Le modèle d'activités produit une analyse fonctionnelle des activités d'un centre métier.
- Le modèle des tâches représente la stratégie mise en œuvre pour résoudre les problèmes posés dans le domaine.
- Le modèle des concepts représente l'aspect statique de la connaissance en termes de savoirs, concepts et objets utilisés dans le raisonnement pour la résolution du problème.

La méthode REX [Malvache &al., 1993] a été élaborée dans le but de capitaliser le retour d'expériences des concepteurs et des experts pour aider à la construction de mémoire de projet. Le principe de base de la méthode repose sur la constitution d' "éléments d'expériences", extraits d'une activité quelconque puis sur la restitution de ces éléments à un utilisateur qui pourra alors les actualiser. Les éléments d'expérience sont définis à travers :

- Le contexte d'un problème ou d'une situation de résolution de problème.
- Une liste de références.
- Un corps descriptif composé d'une description neutre d'un fait, des opinions et des recommandations.

III.2. Modèles spécifiques en conception

En conception, nous pouvons identifier trois grandes catégories de modèles permettant d'implémenter des méthodes génériques. Ces catégories sont relatives à des flux informationnels, à savoir :

- Les informations relatives au produit qui permettent de décrire les caractéristiques de ce dernier selon tous ses aspects : fonctionnel, comportemental, structurel, géométrique, ...
- Les informations relatives au processus qui touchent tout ce qui est en lien avec les tâches, l'organisation des processus et les contraintes qui régissent la réalisation.

- Les informations relatives aux décisions qui sont produites et discutées au cours du projet sur tous les niveaux : opérationnel, tactique et stratégique.

Toutefois, d'autres catégories de modèles sont manipulés par les concepteurs, en particulier pour décrire les systèmes associés au produit au cours de son cycle de vie : modèles logistique et d'assemblage, modèles réalisationnels, modèle de démantèlement ... Nous limiterons notre analyse aux trois types précédents d'informations.

III.2.1. Modèles du produit

Au niveau des méthodes spécifiques dédiées à la traçabilité des activités de conception, les premiers travaux se sont intéressés à la modélisation du produit, objet principal du processus de conception.

Les modèles du produit ne se limitent pas à une description physique ou organique (géométrique, structurelle, ...) mais visent à prendre en compte aussi des aspects fonctionnels et comportementaux. Ces différents aspects forment l'espace de conception (figure I-4) dans lequel se construit progressivement la solution technique et se précise la description physique du produit.

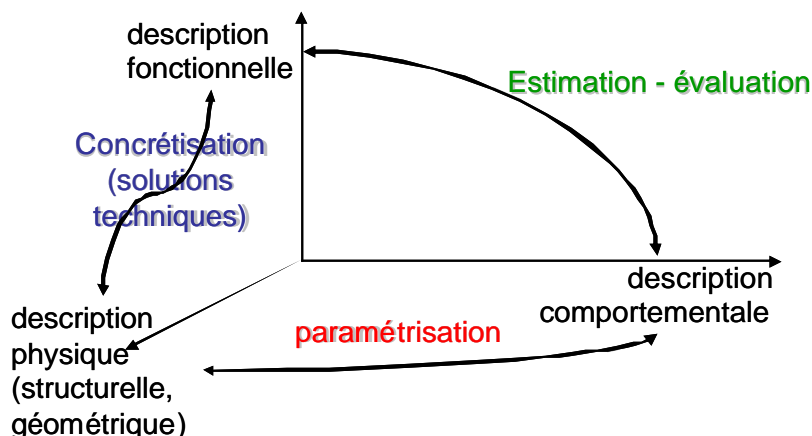


Figure I-4. Espace de conception

Dans cette catégorie de modèles, le diagramme FAST (Functional Analysis System Technique) est l'un des outils de modélisation les plus connus de part sa facilité de réalisation. Un modèle FAST s'intéresse à la décomposition hiérarchique des fonctions du produit selon un axe horizontal et aux séquences de réalisation simultanée sur l'axe vertical. Dans le cadre du projet DEKLARE, [Saucier 1997] a proposé un modèle reliant les aspects fonctionnels aux aspects physiques des solutions techniques en intégrant une représentation de la propagation des contraintes entre les deux vues. D'autres modèles plus complets sont recensés en génie industriel et en génie mécanique tels que : le modèle de graphe produit [Dupinet 1991], le modèle chromosomique [Andreasen, 1991] ou aussi le modèle entité-fonction [Eynard, 1999].

[Harani, 1997] a introduit la notion de point de vue pour prendre en compte d'un côté, les différentes représentations qu'utilisent les concepteurs sur le produit (fonctionnel, comportemental et structurel) et d'un autre côté le domaine technologique tel que le point de vue mécanique, électrique, etc. Le modèle de Harani a été développé avec l'outil Merise dans une optique de conception d'un système d'information. La figure (I-5) présente un exemple de modèle produit. D'autres modèles produits ont été réalisés dans la même optique avec l'outil UML tels que le modèle Esprit [Moka, 1999] ou le modèle "MULTI" de [Menand, 2002] structuré sur trois niveaux (générique, domaine produit et projet) et reliant le produit aux différentes phases de son cycle de vie.

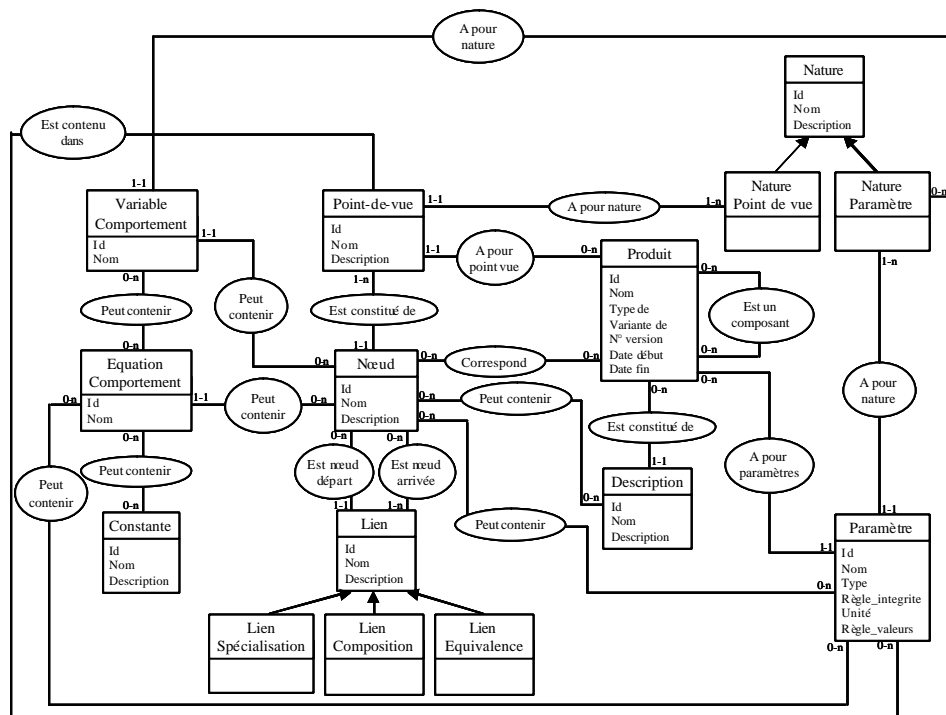


Figure I-5. Exemple de modèle produit (Harani 1997)

Un troisième type de modèles produit intègre la notion de vue métier. [Tichkiewitch 1996] propose dans ce cadre un modèle produit pour la structuration des données de chacun des métiers intervenant dans la conception du produit et la classification des données produit selon leur utilité pour les métiers identifiés. Le modèle produit de [Belloy 1994] suit la même logique et s'intéresse plus spécifiquement à l'intégration des connaissances du métier de fabrication dès les premières phases de conception.

III.2.2. Modèles processus

La modélisation du processus de conception vient compléter celle du produit. Elle consiste à spécifier et à guider l'évolution des états du modèle produit le long du projet pour aboutir à un produit spécifique. Un modèle du processus de conception comporte une description des

différentes tâches à suivre pour mener à bien un projet de conception. La modélisation des processus est au cœur de toute modélisation d'entreprise. Elle n'est pas une fin en soi, mais présente un intérêt particulier pour bien maîtriser l'évolution des processus, afin de piloter leur aboutissement, ou aussi pour sauvegarder un historique pour des fins de réutilisation.

Dans cette catégorie de modèles, [Vargas 1995] a proposé un modèle processus, complété par la suite par le modèle produit de Saucier dans le projet DEKLARE. Ce modèle est une représentation sous forme arborescente du processus de conception. Il est composé d'un ensemble de tâches (problèmes à résoudre), d'un ensemble de méthodes (manières de résoudre des tâches) et d'un ensemble de méthodes élémentaires (calculs et dialogues avec l'utilisateur). Les tâches et les méthodes sont organisées sous la forme d'un graphe ET/OU. Chaque tâche est réalisée par plusieurs méthodes et chaque méthode peut être dédiée à une ou plusieurs tâches. Le raisonnement du concepteur est modélisé sous forme de stratégies de résolution par l'intermédiaire de choix successifs (de tâches et de méthodes) faites par le concepteur durant le processus de conception.

En association avec son modèle produit, [Dupinet 1991] a proposé un modèle processus d'états-transitions dont les états de conception correspondent à l'ensemble des informations présentes dans le modèle produit et les transitions définissent un nouveau choix de solution du concepteur conduisant le produit à un nouvel état de connaissances. Une idée similaire est utilisée dans le modèle SAGEP proposé par [Ouazzani, 1999]. Ce modèle, dit graphe d'état du processus, s'appuie sur une décomposition hiérarchique du processus de conception sur deux niveaux : interne et externe. Sur le niveau externe, l'avancement du processus est assuré par des sessions comme une transition entre deux états des objectifs courants et leur statut (activé, atteint et non atteint). Sur le niveau interne sont explicitées les différentes actions opératives et régulatrices réalisées dans une session *i* pour atteindre les objectifs correspondants.

Dans la perspective de conception de systèmes d'information, [Harani 1997] a complété son modèle "multipoint de vues" du produit par un modèle du processus (figure I-6). Les informations du modèle sont structurées selon quatre types de concepts :

- Le concept de processus représente l'enchaînement de tâches de conception mettant en évidence les étapes clés de la conception, il permet de faire le lien entre les tâches de conception et le produit concerné par ces tâches.
- Le concept de tâche modélise une étape du processus de conception, une tâche peut être élémentaire ou décomposable en un ensemble de sous-tâches.
- Le concept de ressource représente l'ensemble des intervenants dans la réalisation des tâches, cela peut être des méthodes de calcul, des logiciels, etc.
- Le concept d'état permet de visualiser l'évolution des différentes étapes du processus, de ses tâches et du produit, en conservant l'historique de tous les détails sur ces concepts.

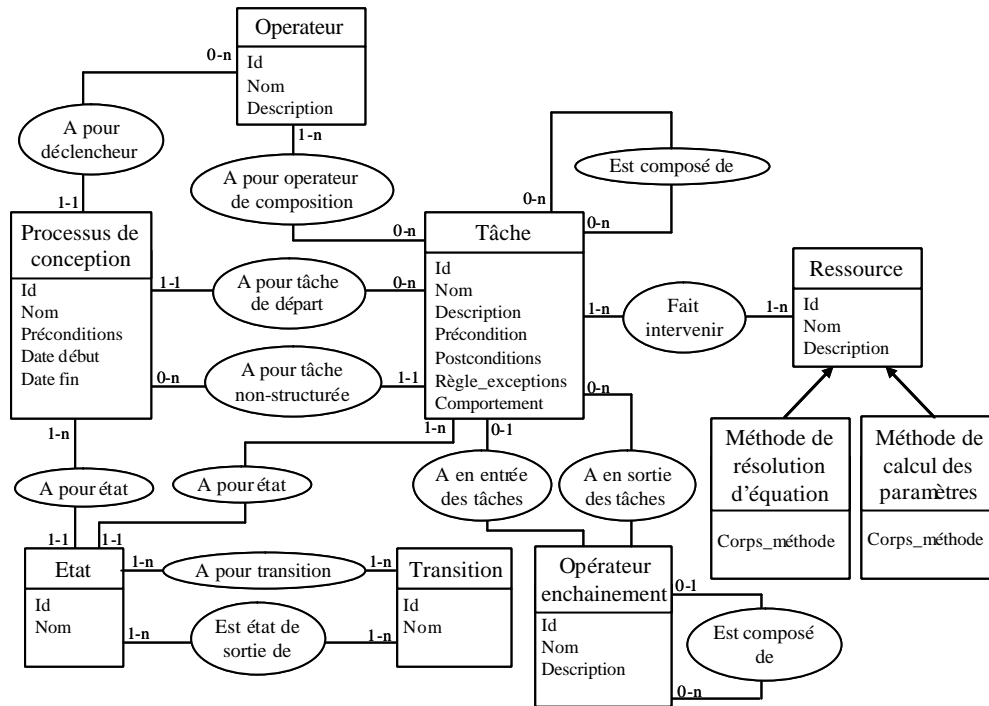


Figure I-6. Exemple de modèle processus (Harani 1997)

Dans la même perspective, [Menand, 2002] a utilisé le formalisme UML pour définir le méta-modèle "MULTI" du processus de conception (figure I-7). Ce méta-modèle est composé de méta-classes concernant le domaine et le projet sur lequel porte le processus de conception. Il offre une sémantique qui permet de capturer les informations relatives au processus et les flux d'information entre acteurs à travers les deux sous-modèles "domaine" et "projet" ainsi que les éléments partagés avec le modèle produit. Dans ce modèle, le processus est composé d'un ensemble de tâches associées à des conditions d'ordonnancement et d'exécution.

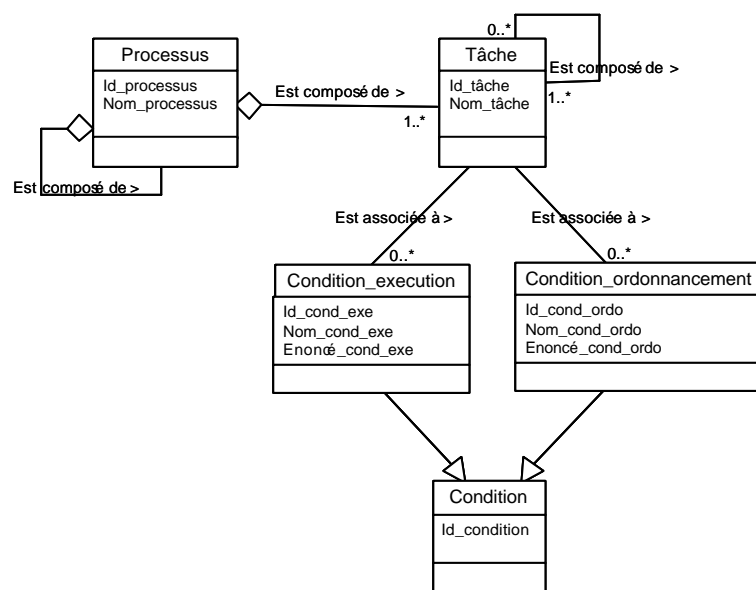


Figure I-7. Exemple de modèle processus (Menand 2002)

Le même formalisme UML a été utilisé dans le modèle processus de conception [Moka 1999]. Ce modèle décrit le "comment" et le "pourquoi" de la conception. Le modèle de processus de conception inclut des catégories de connaissances dynamiques telles que les connaissances sur les tâches, les buts et la stratégie adoptée. Il est représenté avec le diagramme d'activité (vue dynamique) du formalisme UML en incluant des opérateurs de parallélismes, de synchronisations et des transitions. Il est lié au modèle produit par l'intermédiaire de ses attributs inputs et outputs.

III.2.3. Modèles de traçabilité des décisions

Cette dernière catégorie est une forme particulière des modèles de processus et s'intéresse particulièrement à la représentation des aspects décisionnels, individuels et collectifs, relatifs à la conduite du processus de conception et aux choix des solutions techniques pour répondre aux objectifs de conception. Il s'agit aussi de la traçabilité des justifications des choix et des décisions tout au long du déroulement du projet afin de faciliter le post-diagnostic des causes d'échec d'un projet.

Dans cette catégorie de modèles, la méthode GRAI (Graphes à Résultats et Activités Inter-reliés) [Doumeingts 1984] permet d'élaborer des modèles bien adaptés à ce type de problématique. La méthode se base sur le principe de la décomposition hiérarchique des systèmes, à savoir le sous-système de décision et le sous système physique. En outre, la modélisation des activités est obtenue sur la base de deux critères :

- Les critères fonctionnels qui permettent de distinguer les activités selon les fonctions de base auxquelles elles appartiennent.
- Les critères temporels exprimés en termes d'horizon temporel qui permettent de placer les activités (en particulier celles à caractère décisionnel) sur des niveaux caractérisés par l'horizon concerné (nombre de période).

Pour supporter ces concepts, la méthode utilise la grille GRAI (figure I-8) qui est un outil graphique pour représenter la situation des différents centres de décision selon deux axes : sur l'axe horizontal, on a une répartition selon les critères fonctionnels (fonctions), et sur l'axe vertical selon le critère temporel (temps/période). Les réseaux GRAI permettent de représenter graphiquement les différents types d'activités, à savoir les activités de décision et les activités d'exécution. Une activité a_i est représentée par le quadruplet $a_i = \langle q_{i-1}, \partial_i, x_i, q_i \rangle$ où : q_i est le vecteur d'état du flux d'information à l'instant i , ∂_i le morphisme de l'activité et x_i le support.

[Bekhti 2003] s'est intéressé dans ses travaux de thèse à la modélisation de la logique de conception à travers une traçabilité des différentes décisions prises au cours des réunions de revue de projet ou autres réunions coopératifs pour résoudre un problème technique ou un conflit. L'outil "DypKM" proposé par cet auteur décrit "un processus dynamique de définition et de réutilisation de mémoires de projets". Il utilise le concept de schémas relationnels pour structurer la logique de conception à travers six éléments complémentaires (figure I-10) :

- Le problème discuté au cours d'une réunion collaborative. Ce problème peut être aussi bien un objectif à atteindre, un problème technique relatif au produit ou un problème dans le processus de conception ou dans l'organisation du projet.
- Les participants au processus décisionnel et aux réunions de travail ainsi que leur rôle, leurs compétences et leur appartenance organisationnelle.
- Les suggestions émises par les participants au cours d'une réunion collaborative ainsi que les différentes propositions de résolution de problèmes.
- Les arguments émis par les participants dans une discussion pour appuyer une suggestion ou au contraire s'opposer à certaines suggestions des autres participants.
- Les critères représentant une caractérisation des éléments de négociation. Ils permettent de mettre à jour les points principaux mis en avant dans une discussion et évaluer les différentes suggestions et décisions prises au cours du processus.
- Les décisions éventuelles prises à la fin de réunion collaborative. Un lien est établi entre la décision et la situation du problème spécifiant l'état de résolution de ce dernier et permettant de garder une trace de la projection de la décision sur le projet.

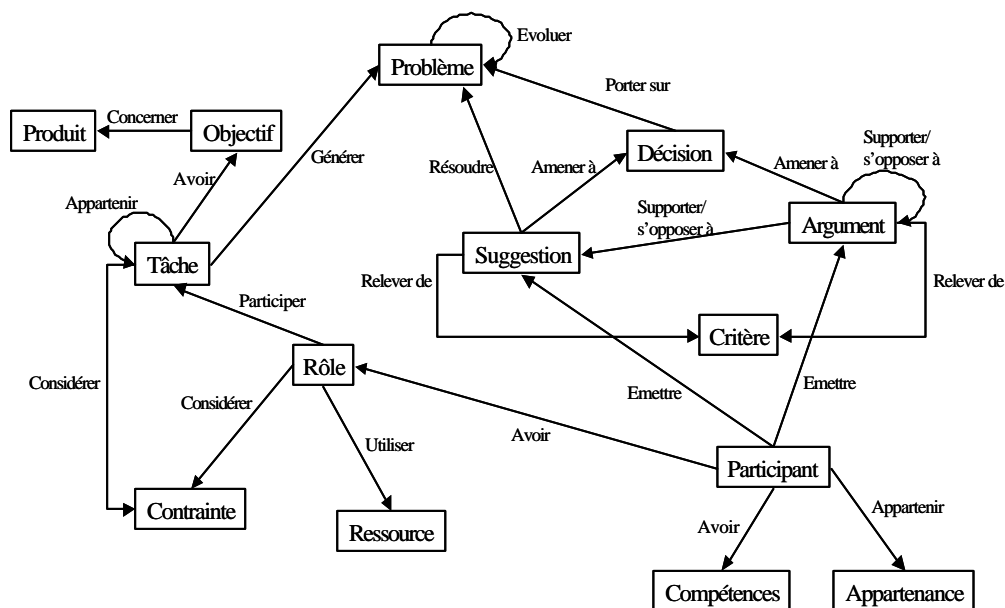


Figure I-10. Modèle relationnel de la logique de conception (Bekhti 2003)

Un autre exemple de modèle de traçabilité des justificatifs de décision en conception a été proposé par [Bigand & al., 2005]. Ce modèle (figure I-11), décrit avec UML, utilise une méta-classe générique nommée "classe entité" pour représenter au même niveau toutes les connaissances d'un projet de conception ainsi que les relations entre les différents éléments du domaine étudié. L'ensemble des décisions prises en cours de projet de conception est répertorié dans la documentation du projet. Un document est composé d'Item(s) lui-même décomposable en autres Item(s), ce dernier se compose de Contenu pouvant être une image, du texte ou une référence à une autre entité le tout relié à la justification de décision par une relation d'héritage. Dans un autre modèle complémentaire, les auteurs introduisent la notion de version pour conserver la trace des versions successives de ces entités.

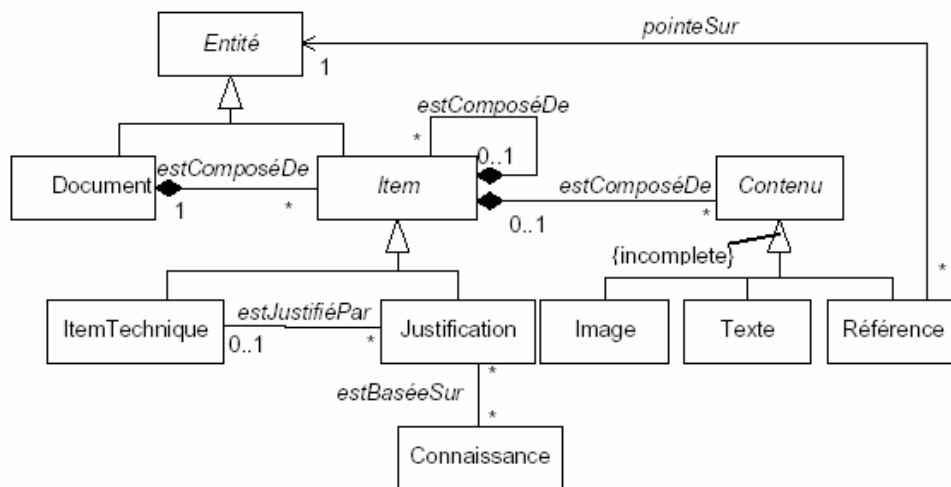


Figure I-11. Modèle des justificatifs de décision (Bigand & al., 2005)

IV. BILAN ET POSITIONNEMENT

Les différents modèles que nous avons vus précédemment ont tous en commun d'être un support de formalisation des connaissances relatives au projet de conception afin de les mettre à la disposition des acteurs de conception concernés. Ils permettent généralement de spécifier le raisonnement que doit suivre un concepteur pour résoudre un nouveau "défi" de conception. Dans ces modèles, un ou plusieurs aspects du produit et du processus ont été positionnés dans des contextes différents (capitalisation et assistance, réutilisation, multi-métiers, multi-projets). L'évolution de ces modèles étend les niveaux de connaissances prises en compte à la fois vers l'amont, par l'intégration des approches fonctionnelles et du besoin des clients, et vers l'aval, par l'intégration des dimensions fabrication et logistique. Les approches de modélisation du produit, processus et décisions en conception se focalisent sur la capitalisation et la réutilisation des connaissances relatives au déroulement des processus de conception routinière ou innovante.

Le caractère complexe de l'activité de conception entraîne plusieurs difficultés pour avoir une traçabilité adaptée des projets de conception. En raison des caractéristiques primordiales décrites précédemment (double évolution prescriptions-résultats et aspects progressif, itératif et interactif observés en conception), les systèmes de traçabilité doivent à notre avis proposer une représentation, la plus complète possible, sur la situation dans sa globalité. La notion de situation permet d'avoir une idée sur les dépendances qui peuvent exister entre les différents éléments dans un projet de conception. Elle permet aussi de mettre en évidence les contributions de ces éléments dans l'aboutissement du projet. Cette notion, à notre avis, n'a pas été abordée suffisamment dans les modèles de connaissances existants et nécessite de ce fait une clarification.

Une deuxième remarque concerne la place de l'acteur humain dans les processus de conception, les processus de gestion et de développement des connaissances ainsi que dans les processus de conduite et de pilotage. La considération de l'homme (créateur, acteur et décideur) comme élément fédérateur de toute approche de pilotage apparaît comme évidente. [Lorino 1996] considère que : "le pilotage d'aujourd'hui quel qu'en soit le sujet, ne s'exerce jamais sur une action mais sur une interprétation". Ceci veut dire que le pilotage doit se manifester comme un signal réactif qui doit tenir compte au mieux des réactions possibles des destinataires selon leur **situation réelle** et leurs **compétences**.

De même, d'un point de vue technique, un ingénieur est reconnu comme "expert dans son domaine" s'il connaît bien les techniques de ce domaine, (la modélisation et la simulation par exemple) mais aussi s'il produit de nouvelles connaissances apportant de la valeur ajoutée. Ceci suppose de la part de cet acteur de disposer d'un ensemble de compétences qui dépasse la simple possession de connaissances techniques.

Face à ce constat et face aux besoins de réactivité des entreprises pour répondre aux évolutions de l'environnement économique, la notion de compétence apparaît comme une problématique fondamentale pour la réussite de toute organisation. Malgré cet intérêt, nous constatons un manque d'intégration du concept de compétences dans les outils existants dédiés à l'aide au pilotage des activités de conception. L'articulation connaissances/compétences est devenu un sujet d'actualité [Boucher &al., 2003a] mais le traitement de ces deux concepts se fait encore sur des niveaux distincts.

Bien que des intégrations génériques du concept de compétence soient observées dans certaines méthodes de traçabilité et de gestion de connaissances comme par exemple la prise en compte des compétences des participants dans la trace des décisions [Bekhti 2003] ou l'intégration de la vue métier dans le modèle produit [Tichkiewitch 1996], les méthodes existantes n'ont pas été élaborées dans un objectif affiché d'aide au pilotage des compétences.

L'objectif de notre travail est de contribuer à un meilleur pilotage des activités de conception en intégrant le pilotage des compétences comme un axe clé. Pour ce faire, il est nécessaire de disposer de connaissances relatives aux compétences requises ou mises en œuvre. Comme la

compétence ne peut être modélisée qu'à partir de l'activité qu'elle permet de réaliser, il est nécessaire de réaliser une traçabilité orientée vers la caractérisation des compétences. L'étude bibliographique concernant la traçabilité a montré le manque d'apports actuels sur ce point. En effet, les modèles et méthodes de capitalisation existants ne donnent qu'une réponse partielle puisqu'ils ne proposent pas de caractériser une compétence à partir des traces de l'activité associée.

La figure I-12 résume le positionnement de notre contribution par rapport aux problématiques discutées précédemment. Les propositions de notre étude s'orientent vers les deux axes :

- une contribution à la gestion des connaissances par la proposition d'une traçabilité des activités de conception.
- une contribution au pilotage des compétences par la proposition d'une approche de caractérisation des compétences.

Nos modèles s'inspirent de différents concepts rencontrés dans les travaux sur la gestion des connaissances détaillés précédemment. Cependant, notre approche s'appuie sur une formalisation du concept de situation considérée comme un élément fondamental dans la gestion des connaissances et des compétences de conception.

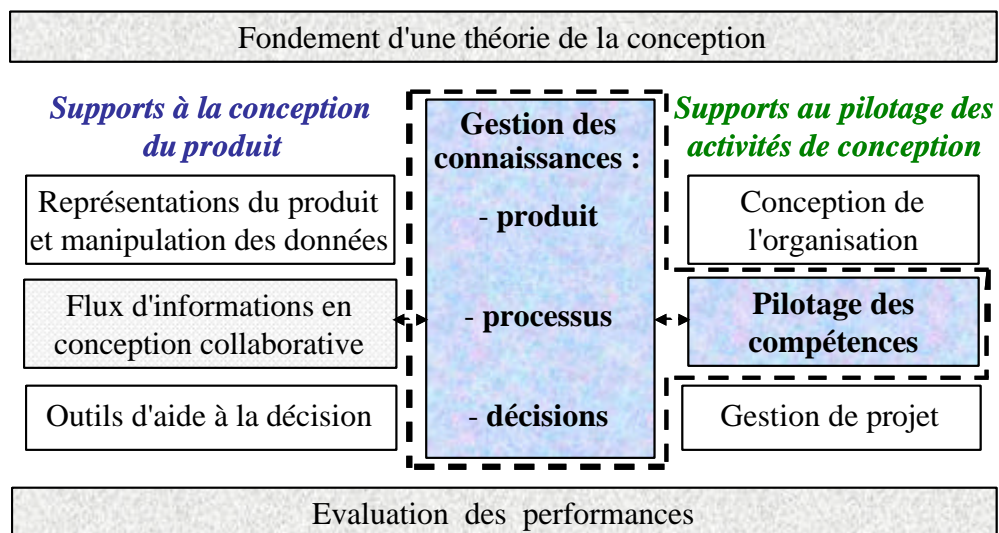


Figure I-12. Positionnement de notre problématique

Le chapitre II s'intéressera à une analyse des travaux sur le pilotage des compétences et permettra de préciser notre problématique sur cet axe. L'explicitation précise de notre contribution ainsi que l'approche générale sera alors présentée à la fin du chapitre II. Un résultat complémentaire est présenté en annexe V. Il concerne des modèles dynamiques pour décrire les entités interactionnelles en conception collaborative [Belkadi & al., 2006c].

Chapitre II

Sommaire du chapitre II

I. Concepts et définitions	32
I.1. Définition de "donnée" et "information"	32
I.2. Définition de "la connaissance"	32
I.3. Définitions de "la compétence" dans la littérature	34
I.4. Caractéristiques de la compétence.....	35
I.4.1. Un concept différent de la qualification	36
I.4.2. Une production de performances dans une activité finalisée	36
I.4.3. Un jugement externe pour reconnaître une compétence.....	36
I.4.4. Une mobilisation organisée de ressources cognitives	37
I.4.5. Un caractère individuel ou collectif.....	37
I.5. Notre définition.....	38
II. Intérêts du concept de situation pour l'analyse des compétences	38
II.1. Modèle théorique de la compétence	38
II.2. Le rôle central de la situation pour l'analyse de la compétence.....	42
III. Le pilotage des compétences.....	44
III.1. Valorisation et identification des compétences.....	46
III.1.1. Méthodologie de valorisation de compétences [Pépiot 2005]	47
III.1.2. Méthode d'identification des compétences [Ley et Albert 2003].....	48
III.2. Intégration des compétences dans l'évaluation de performance	50
III.2.1. Le modèle "S-A-R-C" de Boucher et Burlat.....	50
III.2.2. Estimation de l'impact des compétences sur la performance [Bennour,2004]..	51
III.3. Allocation des compétences et team building.....	53
III.3.1. Indices des compatibilités floues [De Korvin &al., 2002].....	55
III.3.2. Méthode floue de Canos et Liern [Canos &al., 2004]	55
III.4. Développement de supports Informatiques	56
IV. Synthèse et positionnement	58
IV.1. Caractérisation des compétences et référentiels	60
IV.1.1. Définition de typologies de composants de compétences	60
IV.1.2. Evaluation des niveaux de maîtrise	62
IV.1.3. Développement de méthodes et procédures.....	63
IV.2. Notre contribution, une approche pour l'aide à la caractérisation de compétences ..	67

CHAPITRE II

ANALYSE ET PILOTAGE DES COMPETENCES

La prise de conscience du rôle important des compétences dans le pilotage des organisations a fait de la notion de compétence un thème de recherche privilégié dans plusieurs domaines de recherche tels que la psychologie cognitive, la sociologie, les sciences de gestion et depuis dix ans, le génie industriel. Les chercheurs s'accordent à dire que la maîtrise de la compétence est un facteur incontournable pour garantir la performance d'une organisation. Certains auteurs vont plus loin en affirmant que les entreprises d'aujourd'hui doivent être considérées non seulement comme productrices de produits (biens et services) mais aussi de compétences distinctives.

Comme pour la problématique de gestion des connaissances, le pilotage des compétences s'articule sur plusieurs axes complémentaires : repérer les compétences dans une organisation, préserver ce capital et assurer sa disponibilité dans le futur, trouver les mécanismes permettant de faire évoluer et faire émerger ces compétences pour les besoins d'innovation, etc. Ces thématiques reposent sur une meilleure compréhension de la compétence, de ses caractéristiques et de ses relations avec l'environnement dans lequel elle est effective.

Ce chapitre vise à clarifier, à partir d'une revue de la littérature, la notion de compétence ainsi que les concepts manipulés dans le domaine du pilotage des compétences. Nous insisterons particulièrement sur le rôle central de la situation de travail dans le fonctionnement et le développement des compétences.

Nous proposons aussi un état de l'art, non exhaustif, sur les différents travaux menés en pilotage des compétences que nous avons classés selon différents axes. Nous nous sommes intéressés particulièrement aux travaux qui proposent des méthodes "formelles" pour aider aux activités de pilotage des compétences.

L'objectif est d'identifier la logique globale de ces méthodes et de montrer que la caractérisation des compétences est un point de départ pour un système d'aide au pilotage des compétences. En synthèse, nous expliquons la structure générale de notre contribution. Cette approche sera par la suite détaillée dans les autres chapitres.

I. CONCEPTS ET DEFINITIONS

Afin de mieux appréhender le concept de compétence, nous proposons de rappeler certaines définitions des concepts associés (donnée, information et connaissance) pour ensuite discuter de la définition et des propriétés de la compétence.

I.1. Définition de "donnée" et "information"

La donnée est l'élément fondamental de l'information. Le petit Larousse la définit comme : « *une représentation conventionnelle d'une information sous une forme convenant à son traitement par ordinateur* ». Selon [Prax 2000], une donnée est : « *un fait discret et objectif ; elle résulte d'une acquisition, d'une mesure effectuée par un instrument naturel ou construite par l'homme. Elle peut être qualitative ou quantitative. Il n'y a normalement pas d'intention ni de projet dans la donnée, c'est ce qui lui confère son caractère d'objectivité* ».

[Redman 1992] propose une autre définition de données : "Un élément de donnée (*datum or data item*) est un triplet <entité, attribut, valeur>. Des données (*data*) sont alors une collection de tels triplets ».

L'information est l'élément fondamental de la connaissance. D'après le Petit Larousse, les informations sont : « *des éléments de connaissance susceptibles d'être codés pour être conservés, traités ou communiqués*". Selon [Prax 2000], l'information est « *une collection de données organisées pour donner forme à un message résultant d'une intention de l'émetteur* ».

En ce qui nous concerne, nous considérons que donnée et information sont de même nature. Nous retenons que la principale distinction entre les deux concepts est que la donnée est une représentation sous forme **brute** d'une **capture** de renseignements (une valeur attachée à un attribut) sur quelque chose (une entité), tandis que l'information est **une structuration** d'un ensemble de données permettant de leur associer une sémantique. Nous parlerons de bases de données comme étant des systèmes informatiques qui manipulent, structurent, gèrent, traitent et partagent des données ou des informations d'une organisation.

I.2. Définition de "la connaissance"

La définition du concept de connaissances reste encore sujet de divergence dans la littérature. Cependant, les différentes disciplines semblent converger aujourd'hui sur une caractéristique clé de la connaissance : **une connaissance n'existe pas en dehors d'un individu**, elle est de l'ordre d'une représentation cognitive [Ganascia, 1996]. Pour [Prax 2000], « *la connaissance résulte d'une acquisition d'information et d'une action, elle est à la fois mémoire et processus de construction d'une représentation* ».

La distinction entre connaissance et information n'est pas toujours évidente. Selon [Murray, 1996], la connaissance répond au "quoi" tout comme l'information, mais répond également au "pourquoi" et "comment". D'autres auteurs, comme [Skyrme, 1994], pensent que la spécificité de la connaissance par rapport à l'information est qu'elle est dépendante d'une activité cognitive humaine. C'est une combinaison de sens du contexte, de mémoire personnelle et de processus cognitif. Cette définition rejoint celle proposée dans [Ermine 1996] où la connaissance est perçue comme de « *l'information qui prend une certaine signification dans un contexte donné* ». Selon [Gardoni, 1999], "*la connaissance est matérialisée par les informations traitées qu'il faut synthétiser et systématiser pour pouvoir les réutiliser* ».

Dans le cadre du Génie Industriel, le groupe Dyxit a proposé la définition suivante : « *la connaissance est un ensemble de savoirs et de savoir-faire de conception et/ou d'exploitation relatifs aux étapes du cycle de vie d'objets et systèmes physiques artificiels au service de la stratégie d'entreprise* ».

Pour [Grundstein 2002], les connaissances n'existent que dans la rencontre d'un sujet avec une donnée. Il rejoint dans sa définition l'idée de [Tsuchiya 1993] qui propose de distinguer les concepts de donnée, d'information et de connaissance à partir du sens de transfert des données par rapport à un système interprétatif de signes (en l'occurrence un individu humain). Selon ces auteurs, quand la donnée est prise au "sense-reading" (lecture à partir de l'extérieur du système), elle devient une connaissance. Si la connaissance est prise au "sense-giving" (sortie vers l'extérieur du système), elle devient une information pour l'émetteur et une donnée pour le récepteur.

Pour [Nonaka, 1991], « *la connaissance est une croyance vraie et justifiée par le contexte, elle attribue la croyance vraie à un individu ou à une communauté* ». En 1995, cet auteur publie avec Takeuchi, un livre sur la formation des connaissances et son utilisation dans les entreprises japonaises [Nonaka & al., 1995]. Dans ce livre, les auteurs proposent un modèle de création et de transfert des connaissances comportant quatre modes :

- **La combinaison** qui est le processus de création de connaissances explicites à partir de la restructuration d'un ensemble de connaissances explicites déjà acquises.
- **L'internalisation** qui est le processus de conversion de connaissances explicites en connaissances tacites à l'aide de processus d'apprentissage.
- **La socialisation** qui est le processus de transmission de connaissances tacites, par des échanges verbaux, par de l'observation, par l'imitation et surtout par la pratique.
- **L'externalisation** : qui est le processus qui permet le passage de connaissances tacites en connaissances explicites, sous la forme de concepts, modèles ou hypothèses.

Ce modèle fait intervenir deux catégories de connaissances : les connaissances explicites (ou explicites) sont les connaissances pouvant être facilement extraites et représentées sur des

supports partageables. A l'inverse, les connaissances tacites sont difficilement explicitables voire impossibles à imiter [Polanyi 1966]. Ces deux catégories sont associées respectivement aux concepts de savoir et de savoir faire [Grundstein 2001].

Nous ne rentrons pas dans le détail de ces typologies qui posent certaines interrogations sur les limites entre connaissance tacite et explicite, sur les limites entre connaissance et savoir [Bonjour & al., 2005a]. Nous retenons par contre que la connaissance n'est stockable que dans la mémoire de l'individu et doit être reconstruite à chaque réutilisation. Tous les autres supports de stockage sont des systèmes "**à base de connaissances**". Ils ne peuvent en aucun cas comporter des connaissances (au sens propre du mot) mais ils manipulent une forme particulière d'informations et de données descriptives d'une connaissance explicitée.

Si une information est un ensemble de données auquel est associé une sémantique, la connaissance, quant à elle, est associée à une structure cognitive permettant d'interpréter un ensemble d'informations afin de mener un raisonnement dans une situation particulière (ou un contexte d'utilisation) et pour **une finalité** déclarée (activité finalisée, résolution de problème, prise de décision...). Les connaissances diffèrent aussi des données et des informations par le fait que de nouvelles connaissances peuvent être créées par inférence à partir de connaissances existantes. Dans ce mémoire, nous ne ferons pas de distinction entre savoir et connaissance.

I.3. Définitions de "**la compétence**" dans la littérature

La compétence est un concept plus global qui met en œuvre l'ensemble des précédents concepts. Dans la littérature, la définition de compétence a été abordée par plusieurs univers disciplinaires tels que la sociologie [Levy-Leboyer 1996], [Zarifian 2001], l'ergonomie et la psychologie de travail [De Montmollin 1994], les sciences des organisations et la GRH [Quellin & al., 2000], [Donnadieu & al., 1995], l'ingénierie de la formation [Perrenoud, 1997] ou encore, le génie industriel [Gardoni 1997], [Maret & al., 1997], [Boucher & al., 2003b] ... En informatique, ce concept n'est pas utilisé sauf par certains auteurs travaillant sur les Systèmes Multi-Agents [Ferber, 1995].

La définition de la compétence a souvent été associée aux notions de connaissance [Prax 2000], de savoir et de savoir-faire [Bruneau & al., 1992]. De Montmollin [De Montmollin 1986] par exemple, considère les compétences comme « *des ensembles stabilisés de savoirs et savoir-faire, de conduites types, de procédures-standards, de types de raisonnement, que l'on peut mettre en œuvre sans apprentissage nouveau* ».

Le Boterf [Le Boterf 2002] définit une personne compétente comme « *une personne qui sait agir avec **pertinence** dans **un contexte** particulier, en choisissant et en **mobilisant** un double équipement : ressources **personnelles** (connaissances, qualités, culture, émotions ...) et ressources **de réseau** (bases de données, documents, réseaux d'expertise, ...)* ». Pour cet auteur, la compétence est synonyme d'un savoir agir reconnu [Le Boterf 2000]. Le terme

"savoir agir" est considéré ici comme : « *être capable de répondre à des prescriptions ouvertes dans des situations professionnelles plus larges et plus complexes* ». Savoir-agir est un terme plus profond que celui de savoir-faire, qui signifie (toujours d'après le même auteur), être capable d'effectuer une opération prescrite dans une organisation plutôt taylorienne. Nous remarquons qu'il est également important d'identifier l'acteur qui met en œuvre une compétence donnée.

Certains auteurs rajoutent à la définition de compétence, la notion de savoir être ou d'aptitudes qui sont d'ordre cognitif et comportemental [Jolis 1997], [Boucher &al., 2003b]. Pour [Levy-Leboyer 1996], « *les compétences concernent la mise en œuvre intégrée d'aptitudes, de traits de personnalité et aussi de connaissances acquises pour mener à bien une mission complexe dans le cadre de l'entreprise qui a chargé l'individu, et dans l'esprit de ses stratégies et de sa culture* ». [Mitrani &al., 1992] étend le savoir être à toutes les caractéristique individuelles et les motivations qui peuvent être mesurées avec fiabilité et qui peuvent se manifester pour différencier de manière significative les sujets dans leur activités. D'autres auteurs remplacent le terme d'aptitudes par un ensemble d'habilités (pouvant être d'ordre cognitif, affectif, psychomoteur ou social) [Lasnier 2000].

La définition souvent admise par les industriels est celle qui a été énoncée par le mouvement des entreprises de France [MEDEF 2002] comme étant : « *une combinaison de **connaissances**, savoir-faire, expériences et comportements s'exerçant dans un contexte précis. Elle se constate lors de sa mise en œuvre en situation professionnelle à partir de laquelle elle est **validable*** ».

Dans la littérature anglo-saxonne, la définition de la compétence repose sur les travaux de [McClelland 1973]. Les connaissances et savoir-faire sont qualifiés de "hard competences", les autres catégories relatives aux attitudes, comportements (behaviours), traits de personnalité et motivations sont regroupées sous la catégorie "soft competences". Ainsi par exemple, [Klein 1996] relie la compétence à un ensemble de comportements observables conduisant à des performances reconnues. Cependant une distinction est souvent observée entre les termes "competency" et "skill". Ce dernier correspond à une compétence élémentaire ou une habileté manuelle qui est une composante particulière de la compétence. Dans [Lucia &al., 1999], la compétence est considérée comme une combinaison d'un ensemble de "skills" avec d'autres ressources (connaissances, attitudes, variables de personnalités...). Des définitions similaires sont observées dans [Ley &al., 2003], [Caird 1992], ... D'autres définitions sont disponibles dans un glossaire publié sur internet [Faucher &al., 2003].

I.4. Caractéristiques de la compétence

Même si de très nombreuses définitions existent pour la compétence, plusieurs caractéristiques de ce concept ont été mises en évidence dans la littérature [Dejoux 2001] et ont trouvé un certain consensus. Cette partie reprend une à une les caractéristiques principales.

I.4.1. Un concept différent de la qualification

L'une des principales évolutions apportées par le concept de compétence a été la remise en cause du modèle classique des qualifications pour dépasser les limites de ce dernier. Dans [Oirey &al., 2001], la notion de compétence a été présentée comme une continuité du modèle de qualification. Pour [Paradeise &al., 2001], la qualification apparaît comme une relation stable de la force de travail, identifiée par des capacités individuelles, conventionnellement identifiée par le titre (reconnaissant l'incorporation formelle des savoirs et savoir-faire par la formation initiale ou continue), par l'ancienneté (validant les acquis présumés de l'expérience) et/ou par le poste (décrit par le contenu présumé exhaustif des tâches prescrites).

En résumé, la qualification permet d'obtenir un titre qui n'est autre qu'un jugement au préalable reconnaissant à un acteur des savoirs théoriques et parfois des capacités pratiques, qui lui garantissent une adaptabilité probable à un poste de travail. La qualification peut être considérée comme un présupposé à l'acquisition d'une compétence. La compétence a besoin des savoirs acquis liés à la qualification pour exister sans pour autant se réduire à celle-ci.

I.4.2. Une production de performances dans une activité finalisée

Une compétence n'existe pas au préalable mais elle est toujours construite, mise en œuvre et développée au cours d'une action finalisée qui peut être : la réalisation d'une tâche (ou d'une mission), la résolution d'un problème particulier, une initiative personnelle dont le résultat produit est reconnu par l'entreprise ...

Contrairement à la qualification, la compétence suppose la production d'une performance significative et validée qui doit être reconnue par une organisation. Le lien entre la compétence et la performance a été souligné dans plusieurs définitions du concept [Athey &al., 1999], [Spencer &al., 1993].

I.4.3. Un jugement externe pour reconnaître une compétence

La validation d'une compétence nécessite une évaluation externe de la performance associée à cette compétence (ou jugement de valeur). Ceci impose à l'organisation de mettre en place un système de reconnaissance qui doit apporter ce jugement externe. Si le jugement est positif, l'acteur sera reconnu compétent. Du point de vue de l'employé, cette reconnaissance est un avantage en termes d'employabilité. Du point de vue de l'entreprise, les compétences de ses employés sont des "garanties" de performances présentes et futures. Les travaux du MEDEF rappellent fort justement que la compétence « *se constate lors de sa mise en œuvre en situation professionnelle à partir de laquelle elle est validable* », ce qui signifie que la manière de réaliser la mission peut aussi faire l'objet d'une évaluation. Dit autrement, l'évaluation ne porte pas uniquement sur les résultats finaux.

I.4.4. Une mobilisation organisée de ressources cognitives

Toute compétence est supportée par une structure cognitive qui organise la manière dont est conduite l'activité associée à cette compétence. Cette caractéristique a été soulignée par [de Montmollin 1994] qui assimile la compétence à des structures mentales où s'articulent toutes les données à partir desquelles l'opérateur réalise sa tâche. [Pemartin 1999] parle de raisonnement cognitif permettant l'analyse et la résolution de problèmes. L'activation d'une compétence a été représentée par [Bonjour &al., 2002] qui proposent un modèle d'analyse du concept de compétence incluant différents types de ressources et processus cognitifs. Ce caractère cognitif de la compétence implique une mobilisation et **une organisation** d'un ensemble de ressources cognitives (parmi elles, les différents types de savoirs et de connaissances) qui va au delà d'une simple incorporation statique de ces ressources "dans la tête de l'individu".

I.4.5. Un caractère individuel ou collectif

La compétence est un concept qui rend compte de la double dimension individuelle et collective [Oget 2001]. Cette propriété introduit une autre distinction par rapport à la connaissance qui, elle aussi, n'existe pas en dehors d'un individu. Dans la littérature, il est fait référence au patrimoine de connaissances comme étant la somme des connaissances disponibles chez les individus de l'organisation. La même remarque n'est pas complètement vraie pour les compétences collectives. Par exemple, une équipe de travail (ou un acteur collectif quelconque) composée d'un ensemble de compétences individuelles confirmées n'est pas forcément dotée d'une compétence collective [Reynaud 2001]. Ceci est dû à la façon dont ces compétences individuelles sont organisées pour produire une activité collective réussie.

Une compétence collective est associée à un acteur collectif. Elle émerge d'une coexistence intelligente d'un ensemble d'individus compétents dans le but de répondre à une mission collective. [Le Boterf 2002] résume les différentes causes qui permettent de faire émerger une compétence collective à partir des compétences individuelles, comme suit :

- Une élaboration d'une représentation partagée par les individus impliquant une représentation commune du problème à résoudre et l'existence de système de référence et des schèmes d'interprétation communs au sein de l'équipe.
- Une communication efficace et une coopération efficiente entre les membres de l'équipe impliquant une visibilité de la contribution attendue de chacun à la performance collective et des capacités à négocier les différents conflits au sein de l'équipe pour garantir le bon fonctionnement de la compétence collective.
- Des mécanismes d'apprentissage collectif de l'expérience par la formalisation et l'utilisation des processus de capitalisation des pratiques opérationnelles et des retours d'expérience.

I.5. Notre définition

En ce qui nous concerne, nous retenons la définition proposée dans [Bonjour &al., 2004], [Bonjour &al., 2002] qui met l'accent sur la finalité, la contextualisation et sur la performance associée à la compétence en terme de valeur pour l'entreprise. Cette définition, qui peut s'appliquer aussi bien à un acteur individuel ou collectif, tient compte des caractéristiques essentielles de la compétence que nous avons détaillées ci-dessus :

La compétence est la mobilisation d'un ensemble de savoirs hétérogènes aboutissant à la production d'une performance reconnue, par rapport à un environnement donné et dans le cadre d'une activité finalisée.

II. INTERETS DU CONCEPT DE SITUATION POUR L'ANALYSE DES COMPETENCES

Certaines similitudes sont observables sur les structures cognitives qui supportent les compétences individuelles et collectives. Ces similitudes sont reprises dans le modèle théorique de la compétence proposé par [Bonjour &al., 2002] qui montre le lien existant entre la situation et le modèle de fonctionnement d'une compétence. Dans ce qui suit, nous présentons les concepts de base de ce modèle qui est le point de départ de notre approche.

II.1. Modèle théorique de la compétence

Un modèle théorique pour l'analyse et la compréhension du fonctionnement d'une compétence a été proposé dans le cadre d'un projet de recherche mené en collaboration entre une équipe de chercheurs du Laboratoire d'Automatique de Besançon, et des managers et ingénieurs de conception du groupe PSA Peugeot Citroën [Bonjour &al., 2001], [Bonjour &al., 2002]. La figure (II-13) montre la structure de ce modèle.

Ce modèle repose sur des apports de la théorie systémique pour l'analyse de la structure et des interactions entre les différents constituants de la compétence considérée comme un système (selon plusieurs points de vue) et sur des apports de la psychologie cognitive pour comprendre le fonctionnement interne de ce système. Différentes sources théoriques ont été utilisées, par exemple, la théorie des schémas d'action [Sebillotte 1998] ou des processus de prise de décision [Rasmussen 1986] mais plus particulièrement la théorie du schème développée par [Piaget 1975] et reprise par [Vergnaud 1998]. Pour ce dernier auteur, un schème est : « *une forme d'organisation invariante de la conduite qui génère l'action* ». Il se réfère à une classe

de situations donnée et se compose d'un ensemble de buts et sous buts, de règles d'action et d'invariants opératoires.

Un schème peut être décliné en une organisation de sous-schèmes. Les connaissances tacites qui sont contenues dans les schèmes sont désignées par "concept-en-acte" et "théorème-en-acte". Les connaissances explicites sont appelées concepts et théorèmes. L'activation d'un schème fournit l'organisation de la conduite de l'action qui mobilise des informations, des connaissances et concepts pertinents (d'une façon générale, des représentations mentales se reconstruisent pendant l'activité) et qui est relative à une classe de situations et d'intentions.

Le schème n'est pas la compétence, mais son arrière-plan cognitif. Une connaissance lorsqu'elle est mobilisée par un schème particulier, permet d'obtenir, à un niveau de granularité plus élevé, une compétence particulière. Ce concept permet d'expliquer, en particulier, le fait que deux acteurs peuvent posséder la même compétence (réussir la même mission) mais ne pas réaliser leur activité de la même manière (ils ont deux schèmes différents).

Parallèlement à la vue externe qui représente la compétence comme une boîte noire reliant des objectifs et une situation initiale à une action finalisée résultante, la vue interne du modèle de la compétence propose une explicitation de la structure cognitive qui comporte d'une part la nomenclature des éléments constitutifs de la compétence, et d'autre part la structure des interactions entre ces éléments. Cette vue décrit le schème comme une entité qui intègre en une structure, spécifique à la finalité et au contexte de l'action (situation), des ressources cognitives hétérogènes que l'on peut classer en sept catégories :

- Des informations préalables de prescription (données de finalité de la mission) : prescripteurs, résultats attendus (nature, attributs), contraintes, critères d'évaluation de la mission, destinataires des résultats ...
- des informations temps réel (variables de contexte de la mission) : objets traités, moyens, partenaires, environnement spécifique (fonctionnement de l'organisation ou du réseau personnel de l'acteur ...), événements, contraintes de l'action ...
- des concepts pertinents, activés dans l'action
- des connaissances déclaratives pertinentes dans le contexte d'action
- des connaissances procédurales pertinentes pour conduire l'exécution de la mission
- des processus mentaux d'interprétation, d'inférence, d'anticipation, de prise de décision et de contrôle réactif de l'action
- des attitudes favorisant l'adaptation et le passage à l'acte.

Les deux premières catégories sont des informations relatives à la mission de l'acteur. Elles peuvent être soit explicites et prendre la forme d'un ordre de mission soit implicites et

correspondre à des modes de fonctionnement supposés connus par tous dans l'organisation (environnement spécifique). Ces éléments permettront de caractériser les situations rencontrées pendant l'activité et d'enrichir le répertoire de classes de situations de l'acteur. Cette catégorie inclut aussi des critères d'évaluation de la mission qui peuvent être explicites et qui serviront pour l'évaluation de la compétence de l'acteur (jugement de valeur) et de son niveau de performance ("une performance reconnue").

Les catégories 3, 4 et 5 représentent "un ensemble de savoirs hétérogènes", c'est-à-dire des connaissances génériques et /ou spécifiques, théoriques et/ou pratiques, détenues par l'acteur, celles-ci résultant de son éducation, de sa formation (initiale ou professionnelle) et de ses expériences antérieures.

La catégorie 6 correspond aux processus mentaux spécifiques qui mettent en action et en interaction les précédents éléments, par eux-mêmes passifs. Elle exprime la combinaison et la "mobilisation" (regroupement et mise en œuvre) d'informations et de savoirs hétérogènes qui ne sont pas simplement juxtaposés.

La dernière catégorie regroupe des facteurs personnels mobilisateurs qui conditionnent l'état d'esprit de l'acteur par rapport à sa mission. Ces facteurs sont, dans la plupart des cas, dépendants des conditions situationnelles (reconnaissance, management ...). Par rapport aux processus mentaux évoqués précédemment, ces facteurs personnels influencent le raisonnement ou le comportement de l'acteur et constituent en quelque sorte des catalyseurs de l'action (motivation, confiance ...) à moins qu'ils n'induisent parfois des effets inhibiteurs.

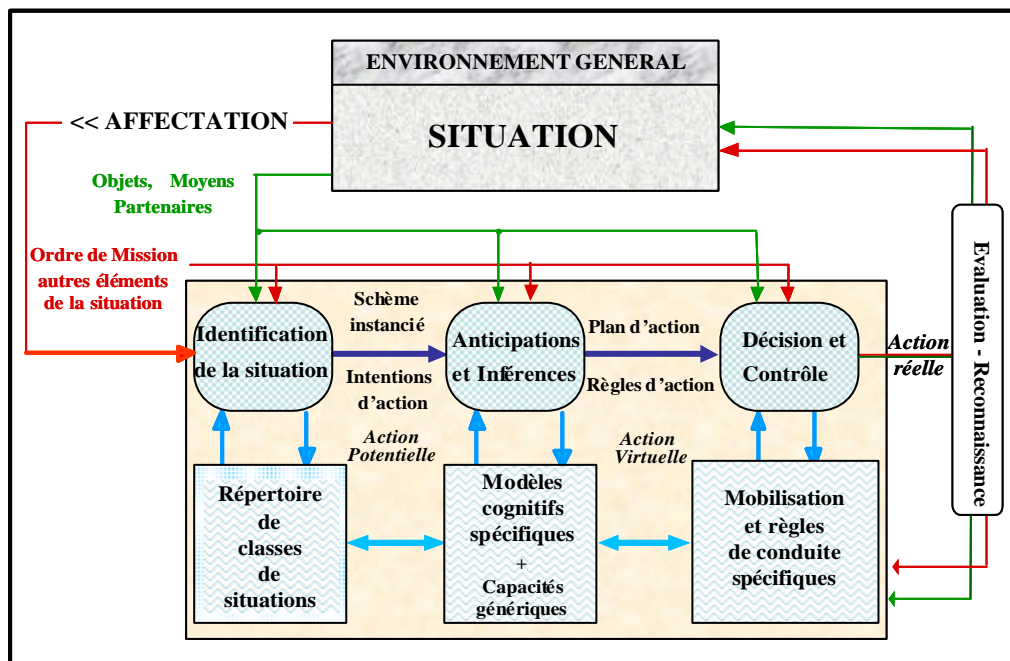


Figure II-13. Modèle de fonctionnement d'un schème (Bonjour & al., 2001)

La figure (II-13) représente les différents composants du schème tels que nous venons de les définir. Le modèle théorique présenté ci dessus est à la base de notre approche. Il permet de mettre en évidence deux dimensions complémentaires de **la compétence** :

- Ses interactions avec l'environnement général et la situation où elle est mise en œuvre,
- Sa composition cognitive interne et l'instanciation de ses composants durant l'activité,

Lors de son activation pour la réalisation d'une mission donnée, ce qui est observable correspond au flux d'actions réelles (l'activité), qui peut être modélisé par un plan d'action.

Cette triple relation entre Compétence et {Situation ; Ressources cognitives ; Organisation de l'action} est explicitée par les processus cognitifs d'activation du schème. Un schème est appelé lors de l'occurrence d'une tâche particulière ressentie comme familière et donc reconnue comme un cas particulier d'une tâche générique t (classe de tâches similaires). On dit dans ce cas que l'activation du schème sous-tend l'organisation de l'activité correspondante. Trois processus cognitifs se succèdent pour obtenir l'action finale :

- **Identification de la situation** : dans un premier temps, l'acteur utilise ses capacités perceptives pour observer les éléments de son environnement général contenant la mission et son cadre de réalisation. Il cherche ensuite dans sa mémoire cognitive (ou dans le répertoire de classe de situations) une situation similaire (ou une classe de situations) contenant la réalisation d'une tâche similaire dans le passé. Il choisit parmi les éléments de la situation, ceux qui sont utiles pour son activité pour ensuite faire une première instanciation du schème. Le résultat de cette première instanciation est un schéma d'action global regroupant les différentes possibilités d'action.
- **Anticipations et inférences** : En fonction des ressources disponibles dans les modèles cognitifs (concepts, connaissances déclaratives, procédurales...) du schème instancié et des informations en provenance de la situation réelle, l'acteur prépare mentalement son activité et sélectionne les différents plans d'actions susceptibles d'être appliqués dans la situation particulière qui se présente. Un plan d'action est une manière possible d'organiser la réalisation d'une tâche. Si on représente le schéma d'actions par un arbre des possibilités d'actions, un plan d'action sera une branche spécifique de cet arbre.
- **Décision et contrôle** : il s'agit de l'étape du passage réel à l'acte et du contrôle réactif par la prise en compte de règles d'action qui orientent l'action. L'acteur prend la décision de choisir un plan d'action particulier et de commencer à réaliser les différentes actions. Au fur et à mesure de l'avancement de son activité, l'acteur corrige son action en cours et remet en cause la structure de son plan d'action en fonction des caractéristiques réelles de sa situation et des éventuels événements non prévus au départ.

Après la description du modèle théorique de l'activation d'une compétence, la partie suivante va permettre de montrer le rôle central de la situation et son intérêt dans la compréhension des processus de développement d'une compétence.

II.2. Rôle central de la situation pour l'analyse de la compétence

Les interactions entre l'acteur et la situation sont la base du fonctionnement d'un schème. L'acteur la perçoit et la modifie par l'activation d'un schème. Durant l'activité supportée par ce schème, des modifications sont observées sur la composition du schème par le biais des différentes instanciations et les retours de correction et d'apprentissage dans l'action. A la fin de l'activité, la structure du plan d'action, et par conséquent, celle du schème, sera stabilisée. En nous inspirant de la théorie piagétienne [Piaget, 1975], trois modes de développement du schème peuvent être identifiés selon la nature de la situation rencontrée (figure II-14) :

- **Le mode assimilation** correspond au cas où l'acteur a identifié, dans sa mémoire (réservoir de classe des situations), des situations identiques ou semblables vécues dans le passé. Cette correspondance lui permet d'identifier un schème potentiellement efficace. Cependant, la situation réelle perçue ne correspond jamais exactement à l'image cognitive préalablement construite. L'acteur doit procéder à des ajustements ponctuels (conscients ou non) pour "assimiler" de nouvelles entités de son environnement (par exemple, une ressource, une règle de conduite, ...) mais sans modifier la structure du schème. L'assimilation correspond ainsi à des adaptations mineures : en ce sens, le schème n'est pas un stéréotype ni une procédure figée.
- **Le mode accommodation** correspond au cas où l'acteur juge que le schème qu'il a activé ne lui permet plus d'accomplir sa mission. Cependant, il identifie dans sa mémoire certaines situations déjà vécues comportant des éléments semblables par exemple, le même type d'outil déjà utilisé, le même type de destinataire etc. Dans ce cas, l'acteur va modifier partiellement son plan d'action (c'est-à-dire la structure du schème) par combinaison avec des plans associés aux situations présumées proches. Différentes tactiques cognitives peuvent être utilisées pour valider l'évolution du plan d'action : simulation, essais-erreurs, échanges d'expérience ...
- **Le mode rupture / mutation** est le mode le plus complexe qui correspond au cas où l'acteur se trouve devant une situation complètement nouvelle. Il ne dispose que de connaissances parcellaires dans ses réservoirs cognitifs. Dans ce dernier cas, l'acteur tente d'acquérir et de générer de nouvelles connaissances pour construire progressivement un nouveau schème. Il procède par le biais d'interactions avec l'environnement externe (source de connaissances), par l'utilisation d'outils de simulation, par la réalisation de prototypes partiels ...

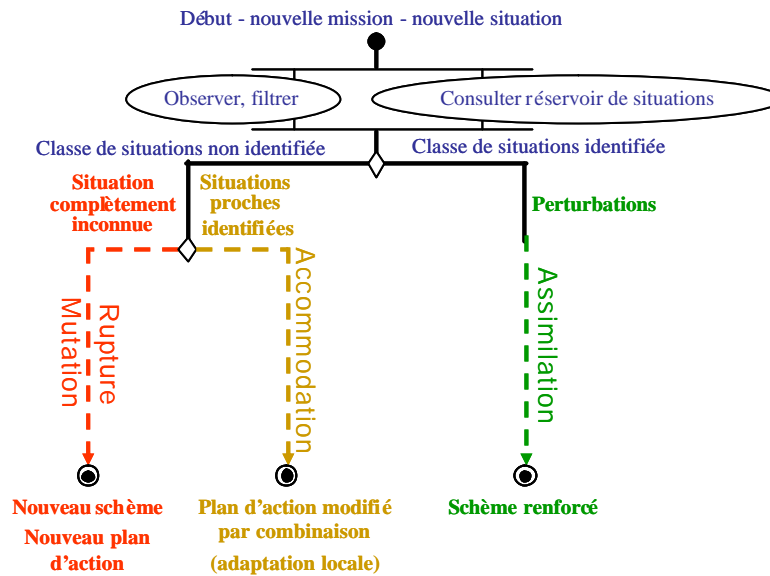


Figure II-14. Différents modes d'activation d'un schème

Nous pouvons noter que les trois modes de développement du schème présentent des analogies évidentes avec les trois types de conception présentés précédemment (routinière, innovante et créatrice). Cependant, l'apparition des différents modes n'est pas linéaire ni exclusive. L'acteur peut faire plusieurs instanciations progressives de ses schèmes, des itérations et des combinaisons de modes d'assimilation et d'accommodation associés à des apprentissages dans l'action et un enrichissement des schèmes existants (expérience professionnelle).

Cependant, l'apparition d'un mode cognitif est toujours dépendante des caractéristiques de la situation présente. Cette propriété fondamentale implique un rôle central de la situation pour la compréhension et le pilotage des systèmes de compétences :

- La construction de la compétence (ou du schème équivalent) nécessite la présence simultanée de certaines ressources au préalable telles que des "savoirs hétérogènes" mais aussi la présence de certaines ressources externes de l'environnement. Elle se fait progressivement dans l'action et dans l'interaction avec les éléments de la situation. Elle dépend donc de la structure de la situation.
- Le développement et la maintenance de la compétence revient à créer les conditions pour favoriser l'émergence et la stabilité d'un schème par des actions managériales telles que : la constitution des équipes de travail, les améliorations ergonomiques du milieu de travail mais aussi, par des actions coopératives pour assurer l'apprentissage collectif dans l'action et de ce fait, enrichir les schèmes individuels.
- L'évaluation de la compétence revient à l'évaluation des performances produites réellement par la mise en œuvre de cette compétence dans une situation professionnelle concrète. Conformément à la distinction entre prescriptions et réalisation, l'évaluation

de la performance produite revient, dans un sens, à l'analyse de la valeur ajoutée (positivement ou négativement) sur la situation globale. Cette valeur ajoutée est mesurable sur les changements entre la situation initiale (contenant la mission avec son cadre d'action) et la situation finale contenant les résultats de l'activité.

- Le diagnostic concerne l'identification des causes de dysfonctionnement dans une compétence qui a conduit à une évaluation négative de cette dernière (échec de l'activité). Parmi les raisons de cet échec, l'analyse de la situation peut mettre en évidence : une mauvaise interprétation des objectifs de la mission, une mauvaise organisation ou coordination du travail collectif, une coopération insuffisante, une appréciation insuffisante des paramètres de la situation (en l'occurrence la situation utile pour mener à bien la mission), etc.

Nous avons montré dans cette partie qu'entrer par la situation de travail (analyse et modification sur les éléments de la situation) constitue une approche pertinente pour apporter une réponse à des objectifs du pilotage des systèmes de compétences. Dans la partie suivante, nous allons structurer et détailler ces objectifs.

III. LE PILOTAGE DES COMPETENCES

Le pilotage des compétences dans une organisation doit s'intéresser à tous les processus internes qui contribuent à la production, à la mise en œuvre et au développement de compétences spécifiques. Pour l'acteur cognitif (individu ou collectif humain), le résultat du pilotage se manifeste soit par un gain en performance, soit par un gain en motivation (reconnaissance), soit par un gain en savoirs hétérogènes, soit par un gain en expériences (approfondissement ou extension de ses classes de situations).

Dans le domaine professionnel, le Mouvement des Entreprises de France [MEDEF 2002] a entrepris depuis quelques années une action de sensibilisation et d'accompagnement auprès des industriels afin de les inciter à repenser leurs modes de gestion des ressources humaines et à mettre en place une nouvelle démarche basée sur les compétences. Dans cette perspective, le MEDEF a mis en œuvre un ensemble d'initiatives telles que des actions coopératives avec les partenaires sociaux français et européens pour leur faire connaître la nouvelle "démarche compétences", mettre en place un réseau de cabinets conseil et créer des observatoires des bonnes pratiques managériales d'entreprises aux niveaux régional, national et international. Dans la "démarche compétences" initiée par le MEDEF, l'organisation est vue comme évolutive. Elle s'adapte en permanence pour tenir compte des besoins du client et des capacités d'évolution de ses salariés. Pour cela, le concept de "gestion par les compétences" est introduit comme une alternative à la "gestion par les postes". Ce nouveau mode de gestion vise à une meilleure implication et responsabilisation de toutes les catégories de salariés et de leurs compétences dans la définition, la construction et le déploiement de la stratégie de

l'organisation sur tous les niveaux. La démarche compétence implique des transformations sur les modalités de travail d'un côté, par des organisations faisant plus appel à l'initiative et à l'autonomie des salariés et d'un autre côté, par des formes de management plus coopératives et décentralisées afin de réduire les considérations hiérarchiques qui peuvent être un frein à la performance.

Dans le domaine scientifique, plusieurs axes de pilotage de compétences sont traités pour répondre à ces besoins industriels et économiques. [Stenlund &al., 1999] identifient cinq étapes dans le processus général de management des compétences : acquisition, allocation, développement, maintenance et utilisation. En France, les premiers travaux en génie industriel concernent surtout l'intégration du concept de compétence dans la modélisation d'entreprise et des systèmes de conduite [Jia 1998], [Boucher &al., 1999] , [Harzallah, 2000], ...

[Dulmet &al., 2003] proposent une structure de pilotage des systèmes de compétences d'une entreprise répartie sur cinq niveaux correspondant à des horizons et à des objectifs différents. Le pilotage opérationnel est vu comme une responsabilisation des acteurs individuels (niveau 1) et collectifs (niveau 2) pour mettre en oeuvre, maintenir et développer leurs compétences. Le pilotage tactique (niveaux 3 et 4) s'occupe de la dynamique des compétences en adéquation avec les orientations stratégiques de l'entreprise : définition et mise en place de plan d'actions de développement des compétences, nouvelles structurations des processus ou des acteurs, etc. Le pilotage stratégique (niveau 5) définit les grandes orientations concernant les évolutions majeures en prenant en compte la dynamique possible des compétences et en formulant des besoins en compétences stratégiques de l'organisation.

Dans une récente publication, [Boucher &al., 2006] ont proposé une classification des différents axes de pilotage des compétences (tableau II-2). Cette typologie a été structurée selon une vision systémique comportant trois vues (structurelle, fonctionnelle et dynamique) et répartie sur les trois niveaux hiérarchiques du pilotage des compétences.

Dans ce qui suit, nous présentons certains travaux de recherche dédiés à l'aide au pilotage des compétences. Nous les avons structurés de la façon suivante :

- Valorisation et identification des compétences clés
- Intégration des compétences dans l'évaluation de performance
- Allocation des compétences et team building
- Développement de supports informatiques
- Caractérisation des compétences et référentiels

Ce dernier point, important pour situer notre contribution, sera traité dans le § IV. Nous mettons l'accent plus particulièrement sur les méthodes formelles ou celles supportées par des outils informatiques. Nous présentons, en annexe I, un tableau synthétique de ces approches.

	Vue structurelle	Vue fonctionnelle	Vue dynamique
Stratégique	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identification des compétences clés ▪ Définition des objectifs stratégiques 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Déploiement de la stratégie selon les compétences collectives ▪ Pilotage des relations inter-firmes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trajectoires d'évolution des compétences en fonction des évolutions technologiques ▪ Le cycle de vie du système de pilotage
Tactique	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identification des compétences ▪ Evaluation des compétences ▪ Analyse des forces et des faiblesses dans les processus de l'organisation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Team building, ▪ Allocation des compétences ▪ Simulation des processus à base de compétences ▪ Sélection de partenaires dans les organisations distribuées 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anticipation des évolutions du système des compétences ▪ Définition des plans d'action pour le développement des compétences
Opérationnel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vision locale sur les performances ▪ Analyse des aspects psychologiques et des mécanismes sociaux : autonomie, réactivité, ... 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apprentissage dans l'action ▪ Formation

Tableau II.2. Typologie des axes de pilotage des compétences (Boucher &al., 2006)

III.1. Valorisation et identification des compétences

La valorisation des compétences dans une entreprise vise à mettre en relief les compétences susceptibles d'amener un avantage significatif à l'entreprise. Ces compétences sont appelées compétences stratégiques (ou critiques ou clés selon les auteurs) ou "core competencies" selon [Hamel &al., 1989], [Prahalad &al., 1990]. Ces deux chercheurs ont montré l'intérêt de concevoir l'avantage concurrentiel en privilégiant les composantes internes comme facteurs de succès. Ils ont effectué des recherches sur les pratiques managériales dans certaines grandes firmes internationales telles que Nec, Chrysler et Honda. Ils ont constaté que chaque firme possède certaines gammes de produits dont elle est leader. Ces produits sont en réalité basés sur des composants spécifiques "core products" qui intègrent des qualités et des technologies maîtrisées exclusivement par l'entreprise leader grâce à certaines compétences critiques de ses employés.

Les auteurs insistent sur le fait que les entreprises d'aujourd'hui doivent, pour maintenir leur avantages, se focaliser non pas sur les produits finaux mais sur certains produits clés composants du produit final et développer les compétences correspondant à ces composants quitte à être moins bonnes sur d'autres composants, à "acheter" les compétences nécessaires pour les réaliser ou même à déléguer la réalisation de ces composants "non critiques" à des

partenaires externes. Cette logique doit s'accompagner, pour une organisation, d'une logique de préservation, de maintenance et de développement des "core competencies".

La notion de valorisation est intrinsèquement liée à celle d'identification de compétences chez les acteurs de l'organisation (quelle compétence chez quel acteur). Nous présentons ci-dessous deux exemples de méthode formelle, l'un pour la valorisation et l'autre pour l'identification.

III.1.1. Méthodologie de valorisation de compétences [Pépiot 2005]

Dans le cadre d'un travail de thèse, [Pépiot 2005] propose une méthode basée sur la logique floue pour la valorisation des compétences critiques dans une entreprise. La méthodologie proposée entend calculer la valeur d'un indicateur agrégé de la criticité d'une compétence (notée ACI). Dans la méthode, chaque compétence est composée d'un ensemble de ressources matérielles et non matérielles de type savoir, savoir faire et savoir être. Trois étapes sont identifiées dans la méthode (figure II-15) :

- Formulation d'une grille de critères : chaque ressource est évaluée au regard d'un ensemble de critères par un expert. La valeur de chaque critère est ensuite agrégée sur l'ensemble des ressources de la compétence :
 - Identifier les critères représentatifs des caractéristiques de la compétence. Par exemple, temps d'apprentissage, temps d'accès à une ressource en externe, temps d'accès en interne, etc. Chaque critère est représenté par une variable linguistique ayant les valeurs floues : très faible, faible, moyen, fort, très fort.
 - Mesurer la valeur de chaque critère $\langle CR_{j,k}^i \rangle$ pour chaque ressource (i) de la compétence (k) par une fuzzification puis une défuzzification (voir annexe VII),
 - Calculer la valeur agrégée de chaque critère $\langle CR_{j,k} \rangle$ pour la compétence par la moyenne de tous les critères $\langle CR_{j,k}^i \rangle$ relatifs aux ressources i de cette compétence k.
- Identifier des indicateurs, caractéristiques de la compétence : les critères sont regroupés selon leur contribution à des indicateurs caractérisant l'avantage concurrentiel fourni par cette compétence. Quatre indicateurs sont ainsi définis :
 - La valeur représente la contribution significative de la ressource de compétence à la valeur du produit ou à l'exécution des processus et des activités,
 - La rareté traduit les difficultés d'accès à une ressource par les acteurs,
 - L'imitabilité indique les possibilités de répliquer une ressource par des concurrents,
 - La substituabilité mesure la possibilité de remplacer la ressource par d'autres.

La valeur de chaque indicateur est alors déterminée par un système d'inférences floues (voir annexe VII) appliqué sur les critères représentatifs $\langle CR_{j,k} \rangle$ de cet indicateur. Par exemple, la valeur de l'indicateur "rareté" est calculée par un ensemble de règles de type : Si $CR_{\text{rareté},1}$ est $CR11$ ET $CR_{\text{rareté},2}$ est $CR21$ ALORS $IND_{\text{rareté}}$ est $IND1$.

- Déterminer la valeur agrégée de la criticité de la compétence ACI par un deuxième système d'inférences floues appliqué sur les indicateurs IND_k calculés précédemment. Les règles d'inférences pour cette étape sont de type (Si Ind_{valeur} est $V1$ ET $Ind_{\text{rareté}}$ est $R1$ ET $Ind_{\text{imitabilité}}$ est $I1$ et $Ind_{\text{substituabilité}}$ est $S1$ ALORS ACI est $A1$).

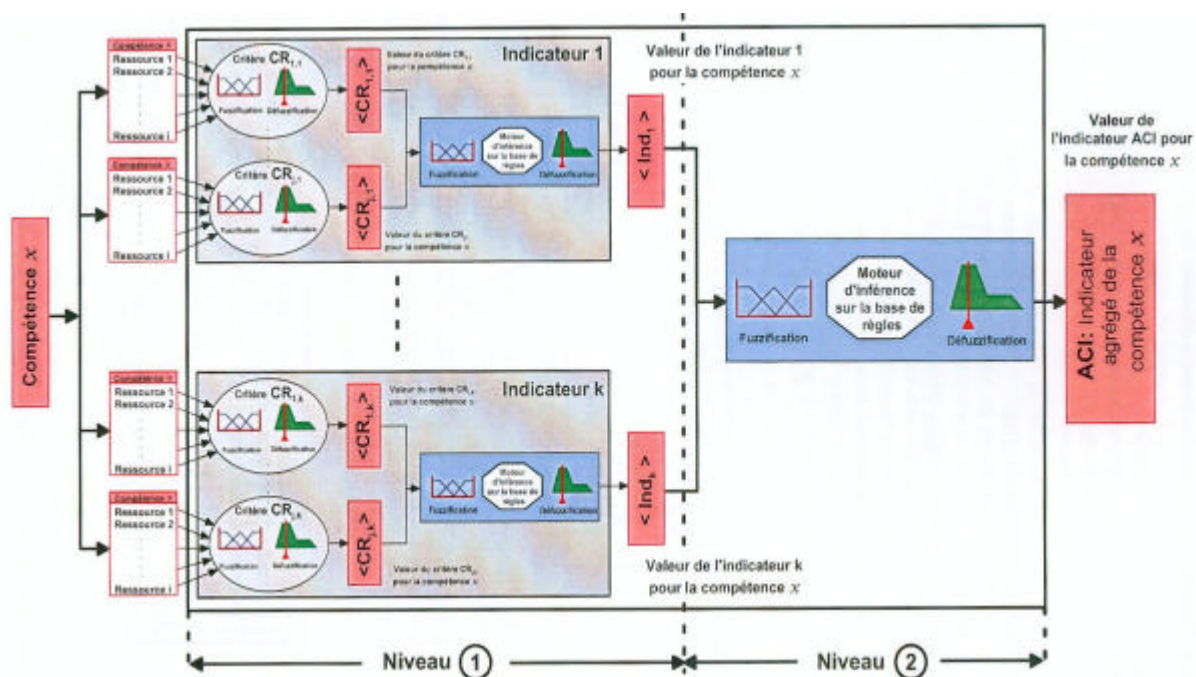


Figure II-15. Méthodologie de valorisation de compétence (Pépiot 2005)

III.1.2. Méthode d'identification des compétences [Ley et Albert 2003]

[Ley & al., 2003] proposent une méthode d'identification des compétences basée sur la théorie de "Competence-Performance Theory" qui est une extension des théories des espaces de connaissances. Ces dernières se présentent comme des structures mathématiques décrivant un état de connaissance dans un domaine d'activité [Ley 2006]. La formalisation est faite sous forme d'ensembles de tâches qu'une personne est capable de réaliser. Elle apparaît aussi sous forme des relations de dépendances : si une personne est capable de réaliser une tâche i de la catégorie A , alors elle est capable de réaliser la tâche j de la même catégorie.

Dans la méthode, P représente un ensemble de tâches associées à un poste dans l'organisation. Les sous tâches de P représentent des états de performance comme étant des tâches pouvant être réalisées par des acteurs. Trois catégories de compétences élémentaires sont considérées : techniques, méthodes et management, qualités personnelles. La structure d'un système

"Compétence-Performance" se compose d'une matrice présentant les contributions des différentes compétences à chaque tâche et d'un graphe arborescent représentant les différentes combinaisons de (tâches-compétences) (figure II-16).

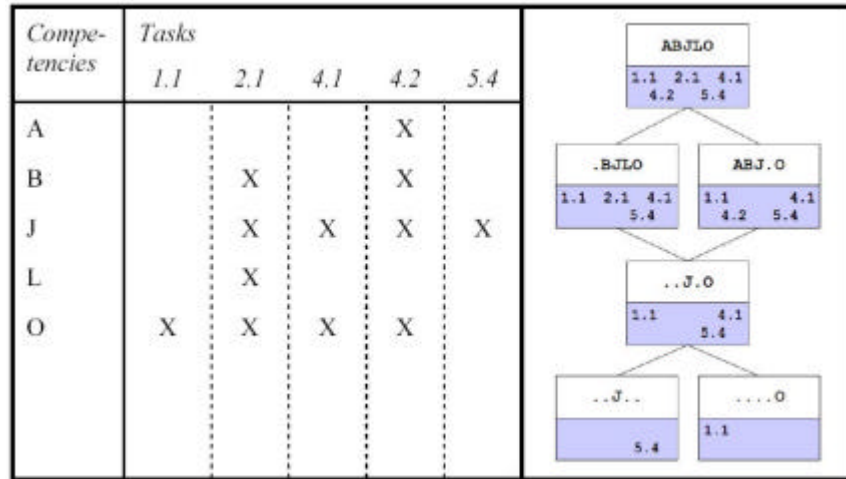


Figure II-16. Exemple d'une structure "Compétence-Performance" (Ley 2006)

Les états de compétences sont les combinaisons de compétences relatives à une tâche (colonne dans un tableau). Par exemple, pour les tâches (1.1, 2.1, 4.1, 4.2, 5.4), nous avons les états de compétences $\{\{O\}, \{B,J,L,O\}, \{J,O\}, \{A,B,J,O\}, \{J\}\}$. L'espace de compétence correspond à l'union de tous les états possibles. Les croix dans la matrice représentent l'interprétation minimale d'une tâche en termes de compétences (c'est-à-dire la combinaison minimale de compétences permettant de réaliser la tâche i). Après la définition des différents espaces de compétences, un graphe arborescent est constitué associant chaque état de l'espace de compétence à l'ensemble de tâches pouvant être réalisé avec cet état. Le graphe dans la partie droite est une explicitation de cette arborescence.

En dernière étape, une fonction "sommaire" est définie pour chaque compétence comportant l'ensemble des compositions minimales par rapport à la relation d'inclusion (\subseteq). Cette fonction décrit le lien de dépendance entre cette compétence et les autres compétences. Cette forme de représentation permet de déterminer des conclusions du type :

- "si un acteur a prouvé qu'il a bien exécuté la tâche 4.1 alors on peut supposer qu'il en serait de même pour les tâches 1.1 et 5.4" étant donné qu'elles font appel aux mêmes états de compétences incluses dans l'état correspondant à 4.1.
- "si une tâche X a été mal réalisée par le même acteur alors on peut conclure que les compétences associées aux états correspondant à cette tâche sont à faire évaluer", (ces compétences sont identifiées dans un tableau sommaire associé à la structure "Compétence-Performance"). Par exemple, si la tâche 2.1 a été mal réalisée par le même acteur qui a prouvé qu'il a bien réalisé la tâche 4.1 alors les compétences B et L

sont à améliorer chez cet acteur pour améliorer la performance de la tâche 2.1. En effet, l'état des compétences correspondant à la tâche 2.1 est {B,J,L,O} et l'acteur a prouvé qu'il possède déjà les compétences J et L par la réalisation de la tâche 4.1.

III.2. Intégration des compétences dans l'évaluation de performance

De nombreuses études montrent l'importance de la gestion des ressources humaines pour maîtriser la performance de l'entreprise [Ewan & al., 1998]. Les travaux de [Ahmad & al., 2003] proposent une méthode mathématique pour évaluer l'influence des pratiques de gestion des ressources humaines, identifiées par [Pfeffer, 1998], sur la performance de l'organisation. Cependant, peu de ces études prennent explicitement en compte les spécificités des compétences. Nous présentons ci-dessous deux exemples d'intégration de la compétence dans l'évaluation de performance.

III.2.1. Le modèle "S-A-R-C" de Boucher et Burlat

[Boucher & al., 2003b] proposent une méthode floue de conception d'indicateurs de performance intégrant le concept de compétence à des fins de pilotage de l'organisation et du développement de ses compétences. Les leviers d'actions du pilotage sont explicités à partir du modèle (S-A-R-C) (figure II.17) reliant les compétences (C) aux situations professionnelles (S), aux acteurs (A) et aux ressources industrielles (R). La stratégie est exprimée sous forme de macro-compétence et la performance est déclinée dans le modèle en termes d'efficacité (écart entre les objectifs et les résultats), d'efficience (comparaison entre les moyens et les résultats) et de pertinence (adéquation moyens et objectifs). Les indicateurs correspondants sont mesurés en fonction des compétences. Ils sont représentés dans un tableau de bord et sont reliés à travers des relations floues aux variables d'action du pilotage pour faire évoluer les compétences. Ce tableau de bord fournit une vision agrégée des performances fournies par le système de compétences et propose une aide à l'identification des leviers d'actions pour faire évoluer ce système.

Les données manipulées dans la méthode concernent les concepts du modèle S-A-R-C :

- Un ensemble de situations professionnelles $S = \{S_1, S_2, \dots\}$ caractérisé par un indicateur flou "degré de maîtrise" de l'entreprise sur la situation, exprimé : $\mu_{S(E)}(S_i)$,
- Un ensemble d'acteurs caractérisé par l'"adéquation de l'acteur" par rapport à sa disponibilité et aux capacités cognitives requises par la situation, exprimé $\mu_{A(E)}(A_j)$,
- Un ensemble de ressources $Q = \{Q_1, Q_2, \dots\}$ caractérisé par le "niveau de service" par rapport à la disponibilité et aux capacités technologiques requises : $\mu_{Q(E)}(Q_k)$,
- Un ensemble de compétences à évaluer dans l'entreprise $C(E)$. le résultat de la mesure est exprimé par le sous ensemble flou $\tilde{R}(E)$ de $C(E)$ sous la forme $\mu_{R(E)}(C_i)$,

- Un sous ensemble flou de $C(E)$ noté $\tilde{O}(E)$ et représentant les objectifs définis par l'entreprise en terme d'acquisition et de maîtrise des compétences $C_i : \{\mu_{O(E)}(C_i)\}$,
- Un niveau de compétence théorique $\tilde{N}(E)$ que l'entreprise devrait obtenir à partir de la mise en œuvre d'un ensemble de moyens dans une situation caractérisée par $\mu_{N(E)}(C_i)$. Ce dernier degré est calculé par une fonction floue de $\mu_{S(E)}(S_i)$, $\mu_{A(E)}(A_j)$ et $\mu_{Q(E)}(Q_k)$.

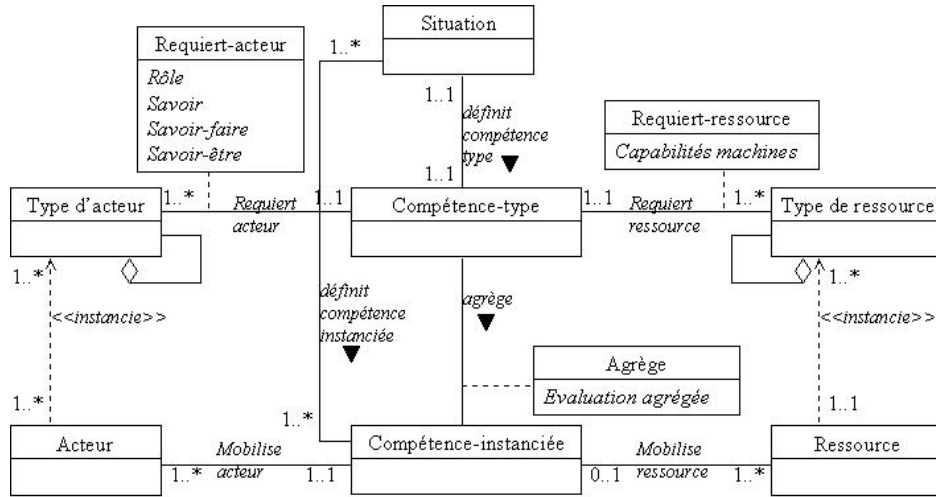


Figure II-17. Modèle S-A-R-C de (Boucher & al., 2003b)

L'évaluation de l'efficacité, de l'efficience et de la pertinence du processus de pilotage des compétences est calculée conformément aux définitions de ces concepts par la formule $e = 1 - d$ où d est la distance de Hamming entre les résultats de mesure $\mu_{R(E)}(C_i)$ et les objectifs $\mu_{O(E)}(C_i)$ pour l'efficacité, entre le niveau de compétence théorique $\mu_{N(E)}(C_i)$ et les résultats $\mu_{R(E)}(C_i)$ pour l'efficience et entre $\mu_{N(E)}(C_i)$ et les objectifs $\mu_{O(E)}(C_i)$ pour la pertinence. Le même principe est appliqué à un niveau plus haut sur les macro-compétences de l'entreprise.

La formule générale de la distance de Hamming : $d(\tilde{X}, \tilde{Y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |m_{X(E)}(C_i) - m_{Y(E)}(C_i)|$.

III.2.2. Estimation de l'impact des compétences sur la performance industrielle [Bennour, 2004]

Dans le cadre de sa thèse réalisée en collaboration avec un partenaire industriel, [Bennour, 2004] propose une méthode d'estimation de la performance des processus d'entreprise intégrant explicitement l'impact de la ressource humaine sur la valeur de la performance

générée au niveau d'une activité et d'un processus de l'entreprise. La méthode est une première étape dans une approche globale d'aide à la gestion des compétences.

L'idée de la méthode est d'essayer de quantifier l'impact des compétences des ressources humaines sur la performance nominale d'une activité. La méthode se base sur des lois mathématiques intégrant la compétence à travers les composants : savoir, savoir être et savoir-faire. Puis l'impact pondéré de chacun des domaines de compétences nécessaires à la réalisation d'une activité sur la performance nominale de cette dernière est calculé. Enfin, la performance finale engendrée par une activité est obtenue en intégrant l'impact des compétences inter-métiers rendant essentiellement compte du savoir être. La démarche adoptée comporte six phases itératives appliquée sur chaque aspect de la performance (qualité, coût et délai) :

- Analyser le domaine métier et identifier les différents processus (et leurs activités),
- Identifier les compétences requises par chaque domaine (les activités et les processus), ces compétences sont exprimées en terme de savoir, savoir faire et savoir être évalués sur un ensemble de niveaux.
- Evaluer la valeur nominale de l'activité (et la performance correspondante) par rapport à la consommation de temps,
- Identifier empiriquement par une approche multicritères des impacts de chaque compétence sur les processus et les activités de chaque domaine métier,
- Identifier à l'aide de graphes expérimentaux (obtenus empiriquement avec l'expert industriel) les différentes lois savoirs-compétences,
- Calculer la valeur de la compétence par rapport à son impact sur la performance :
 - Pour chaque domaine, estimer la durée nominale (à partir du graphe expérimental),
 - Calculer l'indicateur de la performance individuelle en fonction de l'expérience professionnelle, la durée de production et de réalisation de l'activité cible,
 - Calculer les performances inter-métier et intra-métier qui décrivent la prise en compte des aspects relationnels (communication et coopération) durant l'activité,
 - Calculer la performance métier globale qui intègre l'impact des compétences,
 - Calculer la performance globale de l'activité (somme des performances métiers),

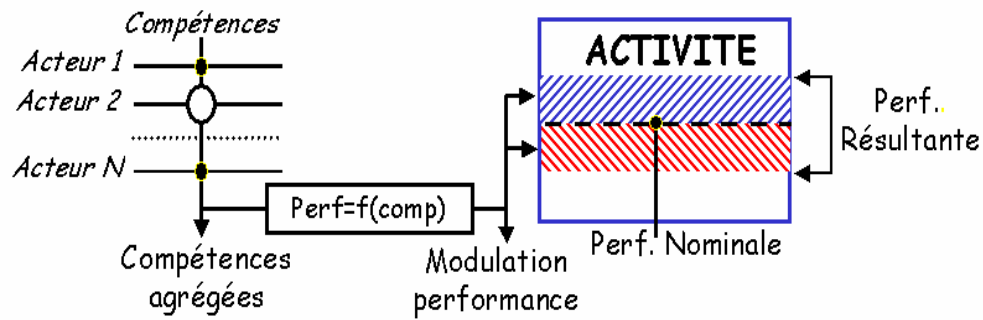


Figure II-18. Modèle activité, performance et compétence (Bennour, 2004)

III.3. Allocation des compétences et team building

L'allocation des compétences est au cœur de la problématique du pilotage des compétences. Classiquement, cet axe de pilotage concerne l'affectation des ressources humaines aux missions qui correspondent le mieux à leur profil (dans le passé on parlait de qualifications) et à définir les meilleures compositions des équipes de travail de telle sorte à obtenir un rendement optimal de ces dernières. Les premiers travaux de recherche qui intègrent les problèmes d'affectation par des approches formelles émanent essentiellement du domaine de l'ordonnancement. Cependant, ces travaux considèrent la ressource humaine de la même manière qu'une ressource matérielle qu'ils appréhendent uniquement en termes de disponibilité et de capacités [Bourland &al., 1994], [Bhaskar &al., 1997].

En Génie Industriel, concernant le pilotage des compétences, le "team building" est le sujet le plus traité par des méthodes formelles (ou semi-formelles et heuristiques) [Tseng &al., 2004], plus particulièrement pour la constitution des équipes de projet dans les activités de conception. Les travaux de [Hadj-Hamou &al., 2004] proposent une méthode basée sur une approche par les contraintes pour la constitution des équipes de projet de conception collaborative en fonction du niveau d'expertise et les capacités de coopération chez les acteurs d'un côté et selon les rôles à assurer et les domaines d'expertise intervenant dans la mission de l'équipe de projet (requis par le processus de conception collaborative correspondant) d'un autre côté.

[Fitzpatrick &al., 2005] combinent une approche heuristique et une méthode mathématique pour l'aide à la formation des équipes de projet à partir d'un domaine de travail comportant un ensemble d'acteurs possédant des compétences différentes), (figure II.19). D'autres approches mathématiques [Tsai &al., 2003], [Acuna &al., 2004] ont été proposées pour l'aide à la constitution des équipes de projets de développement informatique.

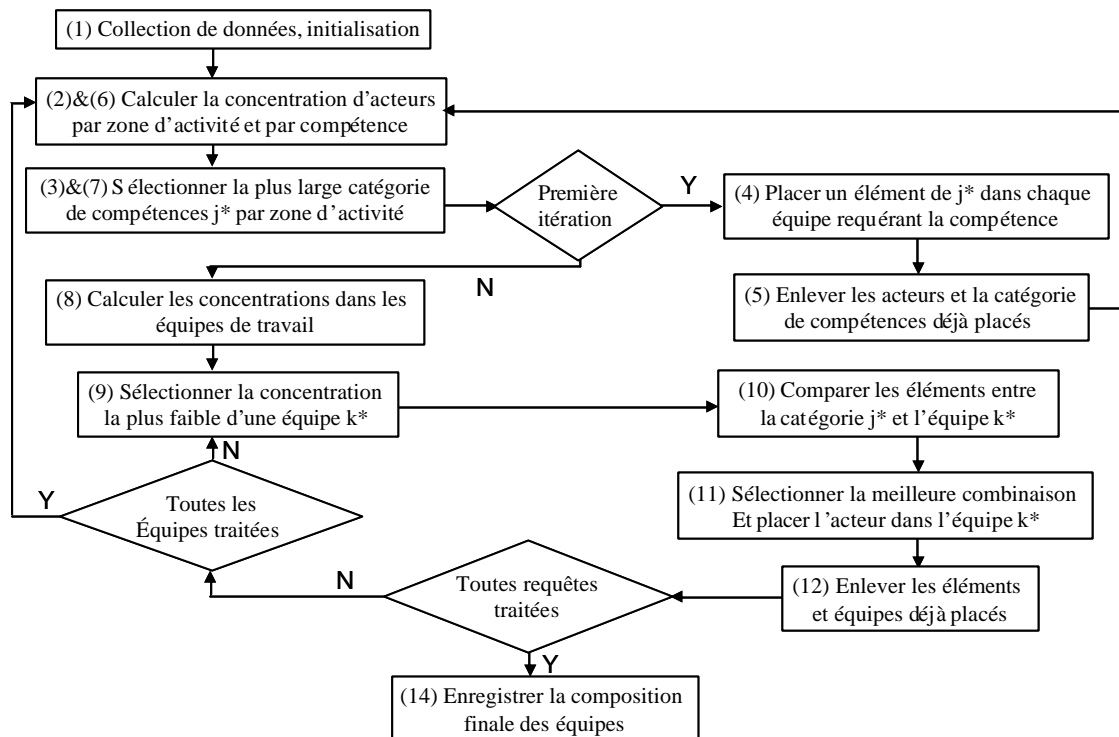


Figure II-19. Organigramme de formation d'équipe de projet (Fitzpatrick & al., 2005)

Une autre approche pour l'aide au "team building" est proposée dans [Gronau & al., 2006] basée sur les réseaux sémantiques pour la modélisation des connaissances clés dans les processus de l'organisation. Cette approche est composée de cinq étapes :

- Modélisation des connaissances clés des processus par des réseaux sémantiques et définition du répertoire de connaissances requises,
- Définition d'un répertoire de compétences élémentaires chez les candidats,
- Choix d'un groupe de tâches pour lequel on veut constituer l'équipe de travail,
- Application de l'algorithme de recherche des groupes possibles
- Finalisation et sélection du groupe de travail.

La logique floue est l'outil le plus utilisé dans ces travaux. Elle est parfois combinée avec d'autres outils comme c'est le cas pour la méthode proposée par [Tseng & al., 2004] qui combine une approche floue avec l'approche Grey d'aide à la décision. De même, la méthode de [Kelemen & al., 2002] est basée sur une approche générique hybride (logique floue – réseaux de neurones) qui permet de prendre en compte, par des processus d'apprentissage, les spécificités disciplinaires de chaque domaine d'application. Dans ce qui suit, nous présentons quelques exemples de méthodes formelles utilisées pour le "team building" afin d'en montrer la logique générale.

III.3.1. Indices des compatibilités floues [De Korvin &al., 2002]

[De Korvin &al., 2002] proposent une méthode pour la définition des équipes de projet sur la base des compétences individuelles des acteurs et leur compatibilité ou capacités à travailler ensemble dans un projet. La méthode exploite trois types d'informations : les différents objectifs du projet avec une décomposition de ce dernier en phases successives et une décomposition des phases en activités à réaliser ; les compétences requises par les activités durant les différentes phases du projet ; les compétences acquises par les acteurs de l'organisation. L'approche utilise le principe de la logique floue et le principe de compatibilité floue développé par Zadeh et repris par Dubois. L'algorithme général de la méthode est le suivant :

- Définir les différentes phases du projet P_i ,
- Définir les différents acteurs candidats X_j ,
- Décrire les phases du projet en termes de compétences requises (ou objectifs de compétences) par le biais des ensembles flous (voir annexe VII). Par exemple pour la phase $P_3 = (0,9/\text{Langue étrangère}) + (0,8/\text{Relationnel})$.
- Décrire de la même manière les acteurs candidats en termes de compétences acquises : $X_j = \sum_{(k=0,n)} ((\text{niveau acquis de la compétence } C_{jk} \text{ par } X_j) / (\text{type de compétence } C_{jk}))$
- Définir le degré de compatibilité entre les compétences acquises par un acteur et celles requises par une phase de projet : $\text{Comp}[X_j, P_i](u) = \max X_j(S)$ où : u est la valeur floue du niveau requis de compétence et $X_j(S)$ les valeurs floues du niveau acquis,
- Définir le degré de compatibilité global par la méthode de défuzzification sur l'ensemble des valeurs u_k : $g_j = \sum_k [\text{Comp}[X_j, P_i](u_k)] / \sum_k (u_k)$
- Sélectionner l'ensemble d'individus X_j possédant le meilleur score de compatibilité g_j
- Calculer la valeur de la compétence combinée du nouveau groupe ainsi formé à l'aide d'un opérateur d'agrégation $X_{j1i} \oplus X_{j2i} \oplus \dots$
- Evaluer le niveau de compétence manquant pour P_i ,
- Sélectionner l'individu qui optimise certaines contraintes spécifiques telles que le coût d'acquisition des compétences etc.

III.3.2. Méthode floue de Canos et Liern [Canos &al., 2004]

Dans cette méthode, les auteurs utilisent des techniques de distanciation (de type distance de Hamming) et de calcul de similarité pour résoudre les problèmes d'affectation. Il s'agit d'un système d'aide à la décision pour la sélection d'une personne à partir d'un ensemble de candidats pour répondre à des objectifs d'un emploi avec des caractéristiques bien définies.

Les données initiales de la méthode regroupent : d'un côté, k postes vacants représentés chacun par un ensemble de compétences requises R exprimé dans l'ensemble de référence $X = \{x_1, x_2, \dots, x_R\}$, et d'un autre côté, un ensemble de candidats $Cand = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$. Deux façons sont possibles pour évaluer et représenter les compétences des candidats par les sous ensembles flous. Les auteurs font l'hypothèse que l'organisation connaît la composition des compétences.

La méthode de sélection consiste à faire la classification des candidats par des mesures de distances entre les compétences supposées acquises par les candidats et celles requises par le poste vacant en utilisant la distance de Hamming. Le profil de l'acteur idéal est celui qui minimise la distance. La deuxième méthode consiste à maximiser l'indice de similarité tel que $m_{i^\Phi}^{\tilde{P}_j^\Phi}$, le rapport de l'intersection des distances sur l'union des distances.

$$\text{Indice similarité } m_{i^\Phi}(\tilde{P}^\Phi) = \frac{1}{n} \sum m_{i^\Phi}^{\tilde{P}_j^\Phi};$$

$$\text{Hamming: } d(\tilde{A}^\Phi, \tilde{B}^\Phi) = \frac{1}{2n} \left(\sum_{i=1}^n (|a_{xi}^1 - b_{xi}^1| + |a_{xi}^2 - b_{xi}^2|) \right)$$

Dans une seconde étape, d'autres opérateurs de pondération sont considérés dans cette méthode pour prendre en compte une évaluation externe par un ensemble d'experts sollicités par l'organisation afin d'améliorer la fiabilité des mesures.

III.4. Développement de supports informatiques

Des outils informatiques ont été créés pour assister les managers dans leur mission de gestion des compétences. Le développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication a donné un nouvel "élan" aux outils d'aide à la gestion de compétences. L'intégration du concept de compétence dans les systèmes d'information permet à l'organisation de maintenir ses avantages compétitifs [Zhang & al. 2001], [Lang & al., 1999]. Pour supporter les activités de management de compétences dans les départements de recherche et développement, [Österlund 1997] suggère une architecture du module "ressources" structurant le flux d'informations sur trois axes : l'axe produit relie le système aux différents outils d'aide à la conception, l'axe compétence inclut les informations descriptives sur les composants de compétences nécessaires pour la résolution des problèmes techniques et enfin, l'axe administration regroupe les tâches de management telles que la planification et l'affectation des ressources. Le modèle intègre à la fois les aspects produit, processus et compétences. [Vasconcelos & al., 2000] proposent une ontologie de compétences incluant un système d'inférences pour supporter les différentes tâches de management de compétences, en particulier, l'identification des compétences des employés et leurs évolutions à partir des expériences dans les projet.

Un exemple de système informatique d'aide à la gestion des compétences dans les projets de conception est l'application PEGACE développée par [Rose & al., 2006] (figure II-20) dans le cadre du projet IPPOP, [IPPOP 2001]. Le système est basé sur une matrice de compétences qui est une représentation des liens (composant produit – métiers intervenants). Les compétences sont représentées en termes de connaissances, activités, autonomie et qualité, évaluées chacune sur quatre niveaux de maîtrise. Quatre types de compétences sont définis dans le système : techniques, organisationnelles, relationnelles et "sociales et d'adaptation". Les fonctions assurées par le système sont l'enregistrement des données sur les compétences disponibles chez les acteurs et celles requises par les phases du projet. Il comporte un moteur de recherche afin d'aider le manager dans la tâche d'affectation des ressources et pour contrôler la participation de chaque acteur dans les activités du projet.

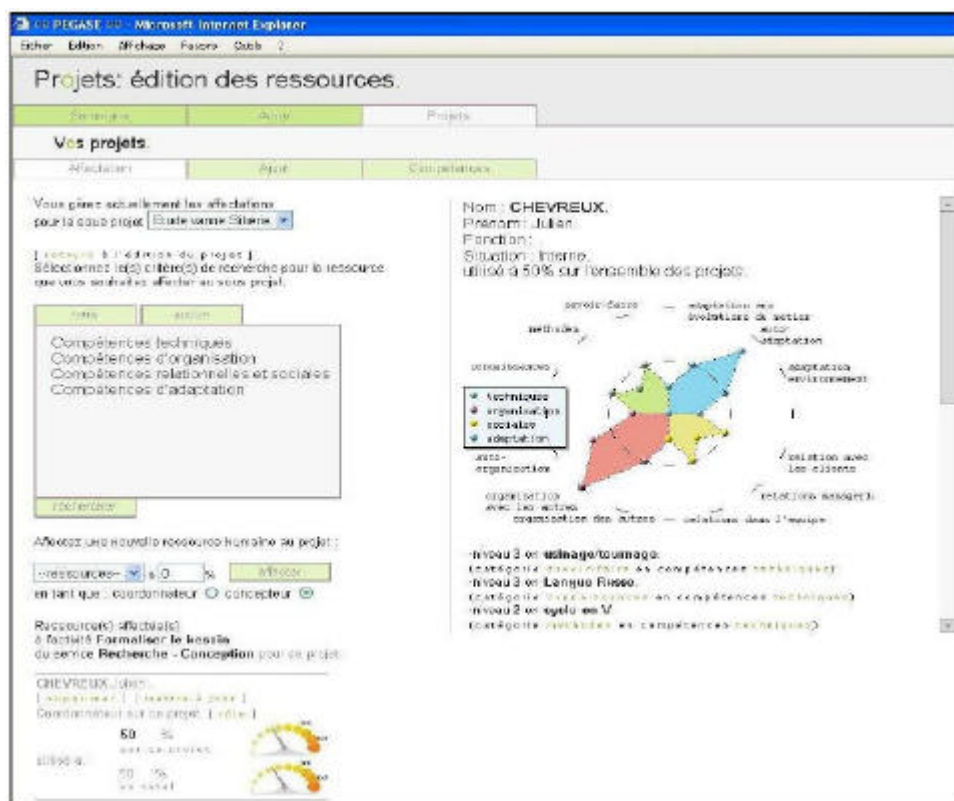


Figure II-20. Exemple d'un outil informatique de gestion de compétences (Rose & al., 2006)

[Houé & al., 2006] ont proposé un système d'information pour aider à résoudre certaines tâches de gestion des compétences. Le système proposé comporte plusieurs modules pour définir les différentes caractéristiques des métiers ou "trade" (objectifs, activités, contraintes, etc.), les compétences requises par le métier, les compétences requises pour réaliser un produit, les renseignements sur les différents acteurs de l'organisation, leurs compétences, un outil de pilotage pour la saisie et le traitement des requêtes ainsi que pour la gestion des droits d'accès à la base de données. Le système d'information proposé permet de répondre aux requêtes suivantes :

- Comparaison entre compétences acquises par un acteur et celles requises par son métier dans un but d'affectation.
- Identification des compétences rares dans l'entreprise qui correspondent aux compétences acquises par un acteur seulement.
- Identification des acteurs qui ont un seul métier pour les aider à diversifier leurs compétences.
- Calcul du niveau d'autonomie sur une compétence par le rapport du nombre d'acteurs qui ont au moins le niveau "autonomie" sur cette compétence sur le nombre total d'acteurs qui possèdent la compétence traitée.
- Re-validation des acquis par un suivi des "dates d'expiration" de certaines compétences du métier si le système remarque que les activités correspondantes n'ont pas été réalisées depuis un certain moment.

Un autre support informatique a été développé par Harzallah pour exploiter un modèle de gestion des compétences acquises – requises. Des améliorations et applications ont été apportées par la suite sur le système [Harzallah &al., 2006]. Cependant, cet outil reste limité à la considération des compétences individuelles des acteurs et ne propose pas de méthode pour la caractérisation des compétences collectives.

IV. SYNTHESE ET POSITIONNEMENT

Cette revue de la littérature a montré que la définition de la compétence et de ses propriétés n'est pas encore stabilisée. Certaines divergences persistent encore entre les différentes disciplines scientifiques et entre le domaine scientifique et le domaine industriel.

Le modèle théorique de la compétence a le mérite de présenter clairement une approche systémique combinant une représentation de la compétence à la fois par sa finalité, par ses résultats et par les processus internes qui supportent son fonctionnement. Ce modèle, centré sur la théorie du schème met en évidence l'importance de la notion de situation pour comprendre et piloter la compétence. Il ouvre la voie à l'identification d'éléments internes essentiels pour la caractérisation des compétences en s'appuyant sur l'analyse de l'activité. La notion de situation a été utilisée par [Boucher &al., 2003] pour identifier les leviers d'actions nécessaires au pilotage de la compétence. Nous retrouvons aussi cette notion de situation au cœur des approches dédiées à la caractérisation des compétences comme nous allons le voir plus loin.

Les différents travaux recensés dans la littérature proposent des méthodes mathématiques ou heuristiques pour reproduire le raisonnement de l'expert GRH. L'outil privilégié dans ces approches est la logique floue car elle permet de modéliser les aspects qualitatifs du jugement humain.

Ainsi, par exemple, [Pépiot, 2005] propose de simuler le raisonnement d'un expert de niveau stratégique qui cherche à localiser les compétences clés dans son entreprise. Cet expert suit le raisonnement suivant : Si une compétence satisfait certains critères spécifiques dans l'entreprise alors elle est critique pour cette dernière. Un raisonnement de même nature est observé dans l'approche de [Ley & al., 2003] pour identifier les compétences chez les acteurs en termes de capacité à réaliser des tâches (Si un acteur prouve qu'il a bien réalisé une tâche T alors on suppose qu'il peut réaliser d'autres tâches de la même catégorie). Dans la méthode de [Boucher & al., 2003], le calcul des indicateurs de performance en fonction des compétences repose aussi sur une hypothèse du type (Si valeurs des composantes de la compétence (modèle S-A-R-C) alors valeur des indicateurs de performances (efficacité, efficience et pertinence)).

Pour les méthodes dédiées au Team Building, nous identifions deux stratégies de raisonnement. La première, itérative [Fitzpatrick & al., 2005], consiste à placer à chaque fois un acteur dans une équipe et vérifier s'il y a adéquation. La deuxième est directe et repose sur le calcul des distances entre ce qui est requis par les missions de l'équipe et ce qui est acquis par les acteurs candidats [De Korvin & al., 2002], [Canos & al., 2004]. Le raisonnement général ici est de type : Si la distance entre le requis et l'acquis est faible alors placer l'acteur dans l'équipe.

Bien que les précédentes méthodes utilisent différentes expressions de la compétence et des ressources qui la composent, certaines de ces approches renseignent sur la composition interne de ces compétences mais peu donnent des orientations sur la manière dont seront définis les composants de cette compétence. Par exemple, dans la méthode de De Korvin, une compétence (acquise ou requise) est représentée par l'expression floue ($\Sigma(\text{niveau de maîtrise})/(\text{type de compétence})$) mais le niveau de compétence est supposé connu. La même remarque peut être faite chez [Canos & al., 2004] ou encore chez [Bennour, 2004]. [Boucher & al., 2003] se limitent dans leur modèle à représenter la compétence à travers des composantes externes (Situation-Acteur-Ressources matérielles). Les notions de savoir-faire et savoir-être ont été utilisées par [Pépiot 2005]. Cependant, on ne retrouve pas d'indices provenant de l'activité permettant d'évaluer ce type de composants en particulier les savoir-être qui sont de nature très subjective et implicite.

Nous avons identifié peu de contributions appuyées par des approches formelles pour caractériser les compétences et plus particulièrement sur les démarches de caractérisation. Notre contribution sera orientée vers cet objectif. Nous avons choisi de présenter dans la partie suivante les travaux portant sur la caractérisation des compétences pour ensuite positionner plus précisément notre contribution et présenter notre démarche globale.

IV.1. Caractérisation des compétences et référentiels

La problématique de caractérisation des compétences est la base de toute stratégie de pilotage de compétence dans une organisation. Les travaux de recherche dans ce domaine s'articulent en trois contributions :

- Définition de typologies de composants de compétences,
- Evaluation des niveaux de maîtrise,
- Développement de méthodes et procédures.

IV.1.1. Définition de typologies de composants de compétences

La définition d'une typologie de composants d'une compétence traduit la spécificité de chaque domaine d'activité. Plusieurs termes ont été proposés dans la littérature pour désigner les composants de compétences. La plus communément utilisée en GRH et en Génie Industriel est le triplet : savoir, savoir-faire et savoir-être (aptitude et qualités personnelles).

Dans le but de considérer les ressources humaines dans une démarche de réorganisation d'entreprises industrielles, [Harzallah 2000] a proposé un modèle de formalisation des compétences pour les caractériser par l'explicitation de la combinaison de savoir, savoir-faire et savoir-être (figure II-21) :

- Les savoirs représentent tout ce qui est appris par une formation initiale ou spécifique, cela concerne : des savoirs théoriques (un ensemble d'informations générales), des savoirs sur l'existant (sur l'environnement dans lequel s'accomplit une compétence) et des savoirs procéduraux (procédures et méthodes opératoires reliées à l'activité).
- Les savoir-faire sont reliés à l'expérience et aux capacités opérationnelles. Ils se décomposent en savoir-faire procéduraux (savoir appliquer une procédure) et des savoir-faire empiriques (difficiles à structurer et à formuler).
- Les savoir-être sont des caractéristiques individuelles qui permettent d'adopter un comportement particulier dans une situation donnée. Ils regroupent des savoir-faire relationnels (associés aux comportements coopératifs), des savoir-faire cognitifs (des opérations intellectuelles de résolution de problèmes) et des comportements (qualités personnelles).

Le modèle distingue deux catégories de compétences : acquise par un individu et requise par une mission de l'organisation. Il ne se limite pas à une liste des différents composants d'une compétence mais propose de relier chacune de ces ressources aux différents aspects de l'organisation concernée par la mise en œuvre de ces ressources. Six catégories sont définies dans le modèle (organisationnel, technologique, économique, informationnel, produit et processus). L'expression d'une ressource (ou composant) (r) de la compétence (c) est donnée

dans ce modèle comme suit : {Catégorie de ressource (exprimée par un verbe) + Aspect (exprimé par un complément d'objet) + Aspects (exprimés par complément d'objet indirect)}.

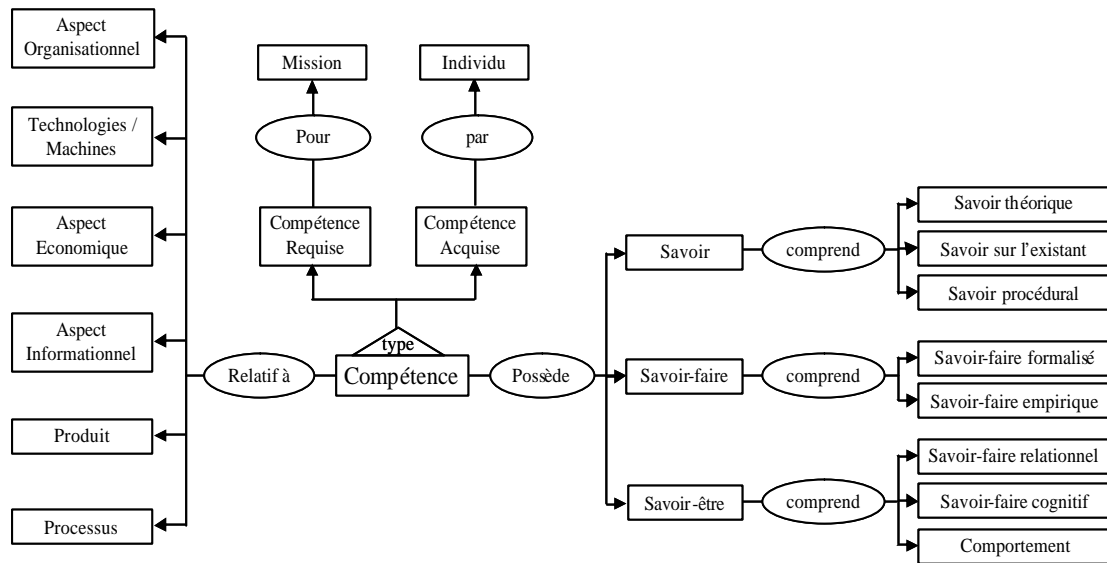


Figure II-21. Modèle entité-relation des compétences (Harzallah 2000)

D'autres typologies sont proposées comme par exemple la typologie de [Ley 2006] qui définit trois catégories de compétences : compétences techniques, compétences de management et capacités personnelles. [Acuna &al., 2004] parlent de quatre catégories de "capacités non techniques" en référence à la catégorie des savoir-être :

- Capacités intra-personnels qui décrivent les comportements élémentaires tels que le sens d'analyse, l'esprit de décision, l'indépendance la créativité la ténacité, ...
- Capacités interpersonnels qui décrivent les qualités de sociabilité, de coopération et de travail en groupe et la force de négociation, ...
- Capacités organisationnelles qui traduisent les capacités de l'acteur à s'auto-organiser dans son activité, d'organiser les ressources de son environnement, ...
- Capacités de management concernent les comportements spécifiques essentiels pour manager tels que le leadership et les capacités d'évaluation.

Dans un objectif d'évaluation et de développement de compétence, [Flin &al., 1998] proposent une typologie de quatre compétences élémentaires (skills). Ils associent à chacune de ces catégories un référentiel des comportements représentatifs, des bonnes pratiques et des mauvaises pratiques de chaque catégorie. On retrouve dans cette typologie : la coopération ou les capacités à travailler en groupe, le leadership et le management, la conscience de la situation ou les capacités à percevoir la situation, et les capacités de prises de décision. Une autre typologie est donnée par [Hermosillo &al., 2002] comportant des compétences : techniques, organisationnelles, humaines, d'interprétation, d'évaluation et de décision.

IV.1.2. Evaluation des niveaux de maîtrise

La définition des taxonomies d'évaluation des niveaux de maîtrise des différentes ressources de compétence trouve ses origines principalement dans les travaux de la psychologie cognitive et de la pédagogie. Il s'agit de définir des échelles de mesure des composants des compétences selon leur importance dans la réalisation de la mission correspondante.

Elaborée dans les années cinquante, la taxonomie des objectifs pédagogiques de [Bloom 1956] est l'une des plus anciennes références d'évaluation des ressources non techniques de la compétence. Initialement, la taxonomie proposée fournit une aide à la précision des exigences des professeurs vis-à-vis des résultats de leurs élèves. La robustesse des principes organisateurs de cette taxonomie en accord avec des théories psychologiques reconnues fait que cette taxonomie est toujours d'actualité dans les applications de référentiels en milieu professionnel et en formation. Le tableau II-3 résume les éléments de base de cette taxonomie

Niveaux	Intitulé	Description
1	Acquisition de Connaissances	Observer, se rappeler, noter, nommer, arranger, définir, décrire, associer, ordonner, ...
2	Compréhension	Comprendre, altérer, changer, classer, définir dans ses propres mots, discuter, expliquer, ...
3	Application	Utiliser l'information, utiliser des méthodes, calculer, construire, pratiquer, ...
4	Analyse	Décortiquer les modèles, organiser les parties, évaluer, catégoriser, catégoriser, comparer, conclure, critiquer, poser un diagnostic...
5	Synthèse	Utiliser des anciennes idées ou connaissances pour créer de nouvelles, assembler, composer, ...
6	Evaluation	Comparer, discriminer les idées, distinguer, choisir, déduire, décider, argumenter,

Tableau II-3 Taxonomie des objectifs pédagogiques (Bloom 1956)

Dans ses travaux, [Pépiot 2005] a proposé une adaptation de la taxonomie de Bloom sur les trois composantes (savoir, savoir-faire et savoir-être). Le tableau II-4 reprend cette taxonomie:

Niveaux	1	2	3	4
Savoir	Notions	Aisance	Expertise	Enseigner
Savoir-faire	Comprendre	Agir	Superviser	Enseigner
Savoir-être	Comprendre	Avoir	-	-

Tableau II-4 Adaptation de la taxonomie de Bloom (Pépiot 2005)

Cette taxonomie est proche de celle proposée par [Michel &al., 1991] qui comporte trois macro-démarches intellectuelles : application, adaptation et création. Nous détaillons cette typologie ainsi que celle de [D'Hainaut 1980] en annexe II. D'autres auteurs se contentent d'évaluer les compétences par des niveaux symboliques ou par une signature sur des axes gradués quantitativement ou qualitativement. L'exemple suivant montre la signature d'une compétence dans le cadre de processus d'enseignement-apprentissage. Cette signature (figure II-22) comporte quatre axes : coopérer, organiser, se documenter et produire du nouveau.

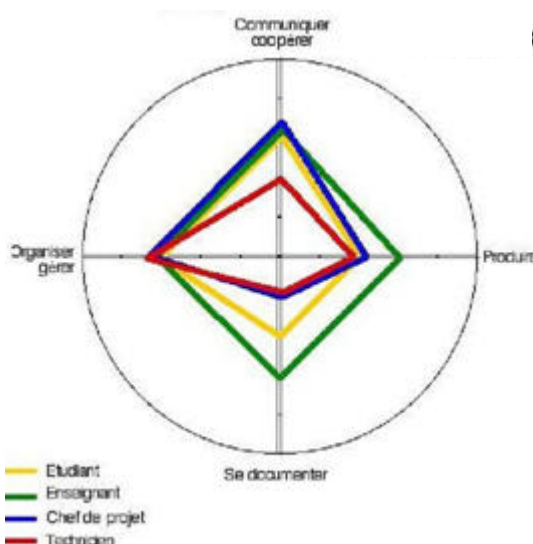


Figure II-22. Exemple de signature d'une compétence (Competice 2001)

Pour les méthodes formelles, nous avons recensé la méthode de [Cannavacciuolo &al., 1996] pour l'évaluation des niveaux de compétences. Cette méthode utilise une représentation arborescente pour décrire les évaluations faites par un ensemble d'évaluateurs sur les ressources d'une compétence individuelle puis une méthode floue pour retrouver la valeur finale du niveau de maîtrise de la compétence, exprimée qualitativement (faible, moyen, ...).

IV.1.3. Développement de méthodes et procédures

La dernière catégorie de contributions à la caractérisation concerne le développement de nouvelles démarches pour aider les experts de management dans leurs missions de définition des référentiels de compétences (informatisés ou non).

Pour instancier son modèle, [Harzallah 2000] a proposé une procédure de trois étapes :

- Définition et structuration de l'entité aspect (E.A.) par :
 - Définition des sous aspects importants dans le domaine étudié,
 - Détermination des entités qui constituent chaque aspect,
 - Définition des relations de spécialisation.

- Instanciation du modèle et de ces différentes entités et relations ainsi que la définition des différentes ressources et leurs relations avec les occurrences de l'entité aspect (E.A.)
- Dérivation des ressources d'une compétence donnée par l'association des ressources de la mise en œuvre à une compétence donnée relativement à la relation de ces ressources avec les aspects.

La problématique des référentiels de compétences est intrinsèquement liée à la caractérisation des compétences. Elle revient à inventorier d'une part, les besoins en compétences requises par les missions d'une organisation et d'autre part, les compétences acquises par les membres de cette organisation. Pour la construction des référentiels de compétences, [Rault, 1993] synthétise les étapes du système d'inventaire et d'évaluation des compétences dans la figure (II-23). Le modèle précise que l'inventaire des compétences requises nécessite la mise en œuvre de quatre phases : définition d'une unité d'analyse, recueil des informations, modélisation des compétences (structure du référentiel) et traitement des informations (contenu du référentiel).

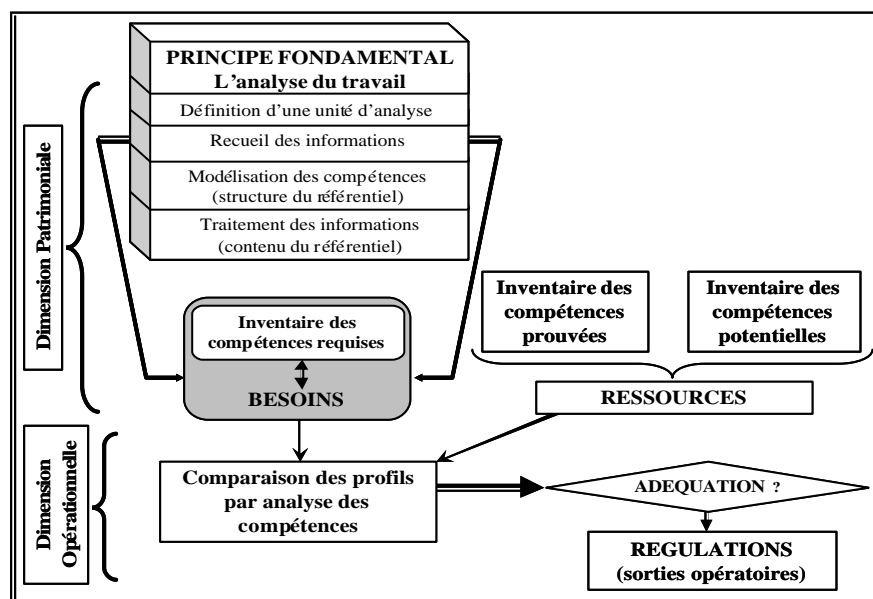


Figure II-23. Problématique des référentiels de compétences [Rault, 1993]

Plusieurs approches d'analyse des situations de travail dans une perspective de gestion de compétences ont été développées. Parmi ces méthodes, la méthode ETED (Emploi-Type Etudié dans sa Dynamique) a été développée par le C.E.R.E.Q. en 1990 [Mandon, 1990]. Cette méthode repose sur le concept d'emploi-type et regroupe des situations de travail qui, sous des formes diverses, présentent des spécificités communes (cohérentes du point de vue de l'acteur humain) par les démarches spécifiques mises en œuvre et leur finalité ainsi que par les savoirs

mobilisés. Plus ancienne mais toujours d'actualité, la démarche **groupes-métiers**, développée par le G.R.E.T.A. (groupement d'établissements publics d'enseignement pour organiser des actions de formation continue pour adultes) au début des années 80, repose sur le principe que tout métier est constitué d'un ensemble d'opérations ponctuelles qui s'agrègent au sein d'une activité qui mobilise un ensemble complexe de connaissances.

Nous retrouvons dans [Rault, 1993] et [CNFPT, 2001] une liste des principales méthodes françaises telles que : La démarche **fonction**, développée par l'A.P.E.C (1979). La démarche "Développement et Emploi" (1981). La démarche **cognitive**, développée par C.O.R.O.M. (1987). La démarche **ergonomique**, développée par l'A.N.A.C.T. (1990). La démarche **formation**, du C.N.A.M. (1991) ...

La direction du développement des compétences du centre national de la fonction publique territoriale [CNFPT, 2001] a mis en œuvre un guide méthodologique pour l'élaboration des référentiels d'"emploi – activités – compétences", afin d'accompagner les managers. Cette démarche est élaborée sur quatre étapes comportant chacune trois phases complémentaires :

- **Étape 1 : Recueil de données sur les emplois et les activités :** Il s'agit dans cette première étape de recueillir des données les plus objectives et concrètes possibles sur l'emploi et son environnement (situation de travail), et de les appréhender à partir des contenus d'activités et ce que font concrètement les agents.
- **Étape 2 : Analyse des données sur les emplois et les activités :** Il s'agit ici d'ordonner les données recueillies, de les confronter entre elles, d'en faire une synthèse, d'en tirer les indicateurs communs et d'en dégager les complémentarités et les spécificités.
- **Étape 3 : La déduction des compétences :** Elle consiste à traduire les activités, conceptualisées et finalisées, en compétences associées puis à définir la combinaison des savoirs, savoir-faire et qualités nécessaires à la réalisation de chaque activité.
- **Étape 4 : Le traitement et la capitalisation des données :** Cette dernière étape est une étape d'exploitation, qui consiste à faire l'identification des zones de proximité entre activités, compétences et emplois-type/métiers ; restitution ; capitalisation et diffusion.

Une stratégie similaire est proposée par [Vidal &al., 2002] pour définir un référentiel de compétences requises dans le cadre d'une gestion des risques au travail. La situation considérée dans cette approche est celle des incidents et accidents de travail. L'approche préconise quatre étapes distinctes :

- **Etape 1 :** Collection des données à partir d'un questionnaire de l'opérateur afin de représenter la situation et d'identifier les classes des situations associées,

- **Etape 2 :** Analyse des évènements et traitement d'une situation spécifique au regard du fonctionnement du modèle de l'opérateur dans cette situation,
- **Etape 3 :** Établir les différents liens entre le modèle de situation et celui de l'opérateur,
- **Etape 4 :** Définir les compétences requises et construire référentiel.

En synthèse, cette partie fait ressortir certaines remarques :

On constate qu'il existe globalement quatre façons de procéder, **toutes informelles et empiriques**, pour obtenir une caractérisation des compétences à partir de l'analyse des situations (ou du poste de travail) :

- Observation et identification des différentes activités qui composent le poste de travail dans le cas où ce dernier est relativement simple.
- Auto description du poste par son titulaire qui aura la charge de noter tout ce qu'il a fait et les ressources qu'il mobilise pendant son activité.
- Enquête et interview semi structurés des acteurs sur leurs activités et les ressources déployées. Une cartographie de compétences est ensuite proposée pour la validation.
- Analyse des incidents critiques et des conséquences positives et négatives puis identification des comportements majeurs conduisant à ces conséquences.

Il est à noter aussi que la compétence est généralement distinguée dans la littérature selon deux types : compétence requise par une mission et compétence acquise par l'acteur. Or, la définition de la compétence est intrinsèquement liée à la notion de performance. La performance est une image de la différence entre les attentes d'une prescription (mission, tâche) et les résultats réels obtenus par la mise en œuvre d'une compétence. Dans ce sens, nous pouvons considérer que la mission est un premier élément de caractérisation de la compétence.

De même, la compétence est mise en œuvre pour supporter la réalisation d'une activité dans une situation donnée. Un deuxième élément de caractérisation de la compétence sera donc l'organisation réelle du déroulement de l'activité associée.

Viendra ensuite le troisième élément de la caractérisation qui est la définition, macroscopique, des différentes connaissances, qu'on peut considérer comme des composants internes de la compétence. Le quatrième élément est la description des autres composants qui sont de type capacités.

IV.2. Notre contribution : Une approche pour l'aide à la caractérisation des compétences

Les notions de référentiels, de ressources et de niveaux de compétences ne datent pas d'aujourd'hui. Cependant, peu de modifications ont été apportées sur la manière dont ces référentiels sont construits à partir de l'analyse de l'activité et de la situation.

L'analyse de la situation de travail revient à l'analyse de l'historique des interactions produites au cours du déroulement des activités. Nous avons présenté au chapitre I certaines méthodes qui s'intéressent à la traçabilité des activités de conception et à la constitution des mémoires de projets pour des fins de réutilisation, d'aide à la décision et d'aide à la résolution de problèmes similaires. Ces systèmes sont basés sur une modélisation du domaine, de ses activités et aussi sur des approches formelles pour le traitement des connaissances capitalisées (arbres de décision, raisonnement à base de cas, ...).

Notre contribution recouvre deux domaines : traçabilité des historiques de conception d'un côté et l'aide à la caractérisation des compétences d'un autre côté. Pour la première problématique, nous proposons une nouvelle approche de traçabilité, conceptuelle dans un premier temps, puis semi-formelle basée sur la modélisation des situations de travail et des interactions produites au cours du déroulement d'un projet de conception.

Pour la deuxième problématique, nous proposons d'utiliser le système de traçabilité comme outil d'analyse des situations de travail pour la caractérisation des compétences. Les avantages offerts par ce type de systèmes automatiques apportent une justification complémentaire à l'alternative de l'entrée par la situation comme solution pour les problèmes de caractérisation. En effet, la définition "statique" des référentiels par les experts de GRH aboutit à des données obsolètes dans un contexte évolutif. Elle suppose aussi que les modes de travail soient relativement stables dans le temps. L'utilisation des systèmes de traitement automatique peut aider à une définition plus "dynamique" des compétences de l'entreprise en facilitant la mise à jour régulière suite à des changements organisationnels de l'activité et à des développements technologiques associés.

La méthode globale que nous proposons pour l'aide à la caractérisation des compétences s'inspire de la méthode de [Vidal &al., 1998], [Vidal &al., 2002]. Elle s'articule en trois modules complémentaires comme le montre la figure (II-24) [Belkadi &al., 2006b] :

- Le premier module "Capture et structuration des connaissances" comporte la spécification d'un système de traçabilité pour la capture et la structuration des connaissances sur la situation de travail au cours d'un projet de conception. Cette spécification est faite par une modélisation UML de tous les aspects présents (ou susceptibles de l'être) dans une situation. Il s'agit des aspects relatifs à la définition du produit, à l'organisation de l'activité, aux échanges coopératifs, aux décisions, etc. De

ce fait, une autre sortie peut être envisagée en parallèle à l'objectif de notre travail pour capitaliser les connaissances à des fins de réutilisation et de résolution de problèmes.

- Le deuxième module "Caractérisation de la situation" constitue l'étape de prétraitement dans le processus de caractérisation des compétences. Il concerne la caractérisation de la situation via des (nouvelles) variables qualitatives faciles à manipuler afin de simuler l'appréciation subjective d'une situation dans l'optique de caractérisation des compétences. Ces deux modules seront détaillés dans le chapitre V
- Le dernier module "Caractérisation des compétences", concerne le processus de caractérisation des compétences à partir de l'analyse de la situation de travail. Les résultats de cette analyse étant remplacés par des variables qualitatives caractéristiques. Pour ce module, nous proposons d'utiliser le principe général de la logique floue. Les données de sorties sont structurées selon un modèle UML des compétences englobant la définition des différents composants internes de la compétence.

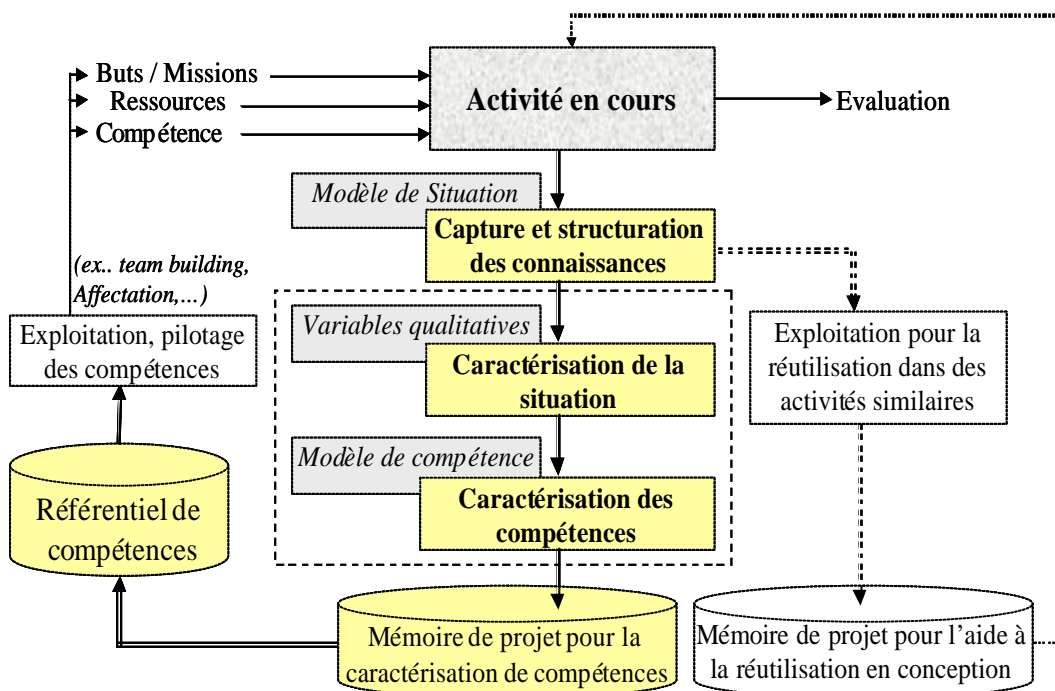


Figure II-24. Approche globale d'aide à la caractérisation de compétences

Les résultats du dernier module peuvent être ensuite enregistrés dans un référentiel pour exploitation à des fins de pilotage (affectation, valorisation, ...). Notre contribution ne traite pas de ces aspects mais des pistes d'utilisation seront discutées en perspectives. Le chapitre suivant présentera le cadre conceptuel du premier module.

Chapitre III

Sommaire du chapitre III

I. La situation de travail dans la littérature.....	70
I.1. Définitions de la situation.....	70
I.2. Modèles de situation.....	71
I.2.1. Les cartes cognitives.....	71
I.2.2. Le modèle conceptuel triadique de Rabardel.....	72
I.2.3. Le modèle triadique de Penalva (SAGACE).....	73
I.2.4. Le modèle du contexte dans l’outil DypKM.....	74
I.2.5. Le modèle de Houssin pour la prise en compte des situations à risque.....	75
I.2.6. Modèle KnowledgeScope (mémoire d’organisation).....	76
I.3. Caractéristiques du concept de situation.....	78
I.3.1. La situation est un système.....	78
I.3.2. Un double regard sur la situation.....	78
I.3.3. La situation est un concept "relatif et interprétatif".....	79
I.3.4. La situation est un espace d’interactions.....	79
I.3.5. La situation est un concept à dimension évolutive.....	80
I.3.6. La situation est une forme de connaissance.....	80
II. Différents aspects de la situation.....	81
II.1. Les objectifs.....	81
II.2. Les ressources.....	81
II.3. Les résultats.....	81
II.4. L’axe Objectifs – Ressources.....	81
II.5. L’axe Objectifs – Résultats.....	82
II.6. L’axe Ressources – Résultats.....	82
III. Concepts et définitions.....	83
III.1. Notre définition du concept de situation.....	84
III.2. Définition des concepts "entité".....	85
III.2.1. Définition d’une "Entité de base" :.....	85
III.2.2. Définition d’une "Entité interactionnelle".....	86
III.3. Définition du concept de "rôle spécifique".....	86
III.3.1. Propriétés du concept de rôle spécifique.....	88
III.3.2. Notre typologie de rôles spécifiques.....	89
III.4. Distinction tâche – activité.....	90
III.4.1. Objectif, tâche et mission.....	90
III.4.2. Processus.....	91
III.4.3. Activité et plan d'actions.....	92
III.4.4. Acteur.....	93
IV. Conclusion.....	93

CHAPITRE III

CADRE CONCEPTUEL POUR LA MODELISATION DES SITUATIONS DE TRAVAIL

Comprendre la situation, faire face à la situation, être à la hauteur de la situation, ... De nombreuses expressions du langage courant expriment le lien entre la difficulté de réaliser une activité et la situation dans laquelle elle va se dérouler. Ce lien est au cœur du concept de compétence tel qu'il est compris aujourd'hui.

Nous avons discuté dans le chapitre I de la nécessité de représenter la situation pour avoir une "bonne" traçabilité des projets de conception. Dans ce chapitre, nous présentons le cadre conceptuel de nos modèles de traçabilité permettant d'intégrer le concept de situation, principalement pour des besoins de caractérisation de compétences.

Nous revenons d'abord sur des définitions de la situation. Ensuite, nous présentons des modèles existants dans la littérature, ce qui nous permet de dégager les caractéristiques essentielles de la situation et de mettre en évidence les concepts clés utilisés dans différents champs scientifiques. La suite de ce chapitre se concentre sur la définition de notre cadre conceptuel.

I. LA SITUATION DE TRAVAIL DANS LA LITTÉRATURE

Dans les travaux portant sur la modélisation des activités et des situations de travail, la distinction entre les concepts de situation, environnement et contexte n'est pas toujours évidente [Araujo & al. 2004]. Ce paragraphe s'intéresse aux définitions de la situation dans ces travaux pour en dégager les principales caractéristiques.

I.1. Définitions de la situation

En génie industriel, la situation de travail peut être vue comme : *« un ensemble de relations entre, d'un côté, le sujet principal qui produit l'effort nécessaire pour le travail et, d'un autre côté, le système de production (au sens large), l'ensemble coopérant pour atteindre une performance donnée dans la réalisation d'une mission bien déterminée »*, [Houssin 2002]. Dans [CNFPT 2001], la situation de travail est : *« l'ensemble des conditions organisationnelles, sociales, matérielles qui délimitent le champ de l'exercice d'une activité professionnelle »*.

En ergonomie, le concept de situation de travail intègre ce qui est appelé dans la norme [NF-EN614, 1995] "système de travail" : *« le système de travail comprend une ou plusieurs personnes et leurs moyens de travail, agissant ensemble pour effectuer une (ou plusieurs) tâche(s) à l'intérieur de l'espace de travail dans l'environnement de travail, selon les conditions d'exécution de la tâche à effectuer »*. La situation est aussi utilisée parfois, comme alternative au terme "poste de travail". [Livian, 1998] définit la situation par *« le résultat de l'influence des missions qui ont été fixées à l'opérateur, de la division du travail qui a été établie, des instruments dont il dispose et des compétences qu'il détient pour agir »*.

En sociologie du travail, [De Terssac, 1998] définit la situation de travail comme *« un résultat d'action organisée, séparée des acteurs, symbolisée par les tâches prescrites et les organigrammes : une réalité en tout cas contraignante »*. Selon le même auteur, la situation ne doit pas être vue seulement comme un système social prédéterminé par rapport aux sujets concernés mais comme une *« construction sociale définie par les significations subjectives »*.

D'autres chercheurs se sont également intéressés à la situation. Pour [Penalva 1997], la situation est : *« un rapport qu'un sujet connaissant établit avec un phénomène perçu dans le cadre d'un projet d'action »*. Les connaissances descriptives de la situation sont représentées en tenant compte de la logique, propre aux individus, d'assemblage et d'organisation de ces connaissances. La situation peut être vue dans ce sens comme un rapport intime (car liée à l'individu), entre la réalité et une structure mentale qui n'est qu'une représentation partielle, et orientée de cette réalité.

I.2. Modèles de situation

Des modèles et formalismes ont été proposés dans la littérature IA pour la modélisation des situations ou du contexte [Öztürk & al., 1998]. Dans cette catégorie, les systèmes multi-agents ont été introduits pour permettre d'intégrer le caractère collaboratif dans la représentation de l'environnement de travail [Fabiloa 2002]. Les travaux de [Brézillon & al., 2002] proposent un modèle de "graphes conceptuels", basé sur l'outil des arbres de décisions.

Dans ce qui suit, nous présentons des modèles et outils de modélisation destinés à la représentation des situations. Ces modèles sont issus de différentes disciplines : les sciences cognitives, l'ergonomie, le génie industriel et le Knowledge Management.

I.2.1. Les cartes cognitives

En psychologie cognitive, le modèle de situation traduit une représentation instantanée d'un état du modèle mental [Endsley 2000] chez un acteur cognitif. Parmi les outils dédiés à ce domaine, le modèle des cartes cognitives a été développé à partir des années 50 [Axelrod 1976]. Ce modèle sert à représenter graphiquement les connaissances subjectives que possède un "analyste" sur un domaine particulier. Le but est de capturer les relations de causalité existant entre les différents éléments de ce domaine [Fabiola 2002].

Formellement, une carte cognitive est représentée comme un graphe dirigé composé d'un ensemble de nœuds N_G (décrivant les concepts du domaine) et d'arcs orientés E_G pour représenter les liens de causalité entre les différents concepts. Une pondération symbolique (positive, négative ou nulle) est associée aux différents arcs de la carte pour évaluer le sens de l'effet. [Aissaoui & al., 2003] proposent d'enrichir la description de chaque sommet d'une carte cognitive par un graphe conceptuel afin de définir de façon précise chaque état en référence à une ontologie. Ce graphe comporte, comme le montre la figure (III-25), un ensemble de sommets (comportant des concepts et des relations), un ensemble d'arêtes et d'applications qui associent une étiquette "EtiquG" à tout sommet de N_G et à toute arête de E_G .

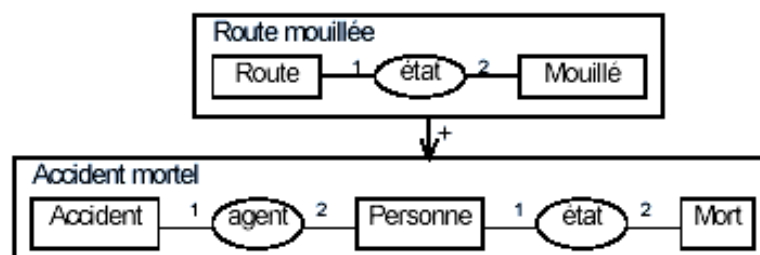


Figure III-25. Modèle d'une carte cognitive de graphe conceptuel (Aissaoui & al., 2003)

Les cartes cognitives offrent l'avantage d'une représentation et d'une structuration intéressante de la pensée cognitive pour une finalité d'aide à la décision [Schneider 1994]. Picard a proposé l'utilisation des cartes cognitives pour l'analyse des compétences économiques à partir des processus cognitifs de décision [Picard, 2003]. La méthode préconisée est de permettre aux acteurs de parler librement de leurs pratiques puis construire les cartes cognitives décrivant les concepts évoqués ainsi que les relations entre ces concepts pour enfin, identifier les éléments clés mobilisés dans une compétence économique.

Cependant, le degré d'analyse dans ces modèles reste abstrait et ne permet pas de représenter explicitement les propriétés des éléments composants de la situation ni de les classer par rapport à ces propriétés.

I.2.2. Le modèle conceptuel triadique de Rabardel

En ergonomie, le concept de situation de travail désigne plus particulièrement le poste de travail où se déroulent les différentes actions finalisées. [Rabardel, 1993] précise que pour les conceptions et les productions à dominante technique, trois concepts sont généralement repris dans les différentes approches de représentation :

- *Le sujet (S)* qui réalise l'action, (l'utilisateur, l'opérateur, ...),
- *L'objet (O)* vers lequel l'action est dirigée (matière, flux, ...),
- *L'instrument (I)* intermédiaire entre le sujet et l'objet dans l'action : outils, machines,...

Le modèle conceptuel triadique de Rabardel se focalise sur la vue macroscopique d'une activité instrumentée (figure III-26). Il met en avant une caractéristique importante des situations de travail liée à la présence d'une diversité d'interactions entre les différents pôles de la situation (S, O, I). Quatre espaces interactionnels sont ainsi définis dans le modèle :

- *L'espace maître* (ou d'apprentissage) : défini par les interactions (Sujet – Instrument), dans lequel le sujet transmet les consignes, les objectifs et les procédures de travail.
- *L'espace de travail* (ou de production) : défini par les interactions (Instrument – Objet), dans lequel les différentes consignes sont appliquées pour produire un effet sur l'objet.
- *L'espace de contrôle direct* : défini par les interactions (Sujet – Objet), dans lequel le sujet constate les changements apportés sur l'objet.
- *L'espace de contrôle indirect* : (ou de retour d'information), défini par les interactions médiatisées par l'instrument (S – I – O).

On notera la caractéristique fondamentale du double positionnement possible de l'utilisateur ou de l'acteur durant l'action (pôle sujet ou pôle objet). Selon les situations, le sujet peut agir

sur lui-même pour modifier sa propre connaissance de la situation occupant ainsi, le pôle sujet et le pôle objet de la situation.

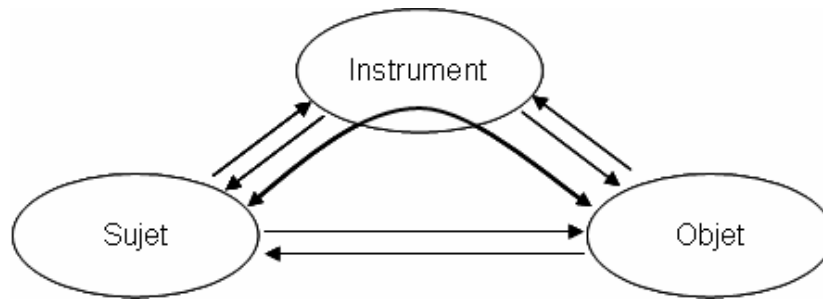


Figure III-26. Le modèle de la situation d'activité instrumentée (Rabardel, 1993)

I.2.3. Le modèle triadique de Penalva (SAGACE)

La méthode SAGACE a été développée au laboratoire du CEA [Penalva, 1997], [Penalva, 1999]. Elle s'appuie sur la théorie générale des systèmes pour modéliser le rôle de l'opérateur dans la conduite de processus dans des situations complexes. Dans le modèle conceptuel, (figure III-27), la situation complexe est représentée par la conjonction de trois référentiels complémentaires :

- *Le référentiel épistémique* introduit la situation comme objet d'examen pour un observateur. Trois concepts de base sont considérés dans ce référentiel représentant ainsi le "logo" de la méthode SAGACE :
 - *Le sujet* est une intelligence cognitive (acteur) impliquée directement dans une action intentionnelle finalisée sur un objet de son environnement.
 - *Le projet d'intervention* représente l'action intentionnelle qui va produire quelque chose, en particulier des transformations sur l'objet. La nature du projet définit le type de situation, sa structure et son niveau de complexité.
 - *L'objet* est la partie de l'environnement du sujet concerné directement par les résultats du projet d'intervention. Cet objet peut être physique, conceptuel ou symbolique, ou encore un complexe d'actions impliquant éventuellement d'autres acteurs...
- *Le référentiel sémiotique* représente la situation comme un système de signes ou comme la représentation symbolique que se fait l'acteur cognitif de la réalité matérielle. Cette représentation est faite sur trois dimensions (syntaxique, sémantique et pragmatique).
- *Le référentiel systémique* considère la représentation de la situation au travers des aspects ontologiques, phénoménologiques et génétiques.

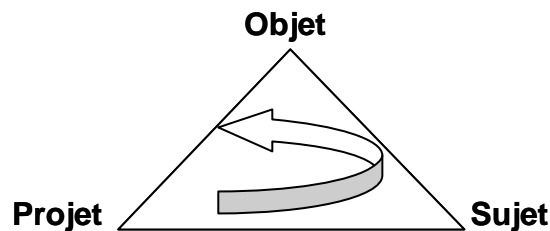


Figure III-27. Représentation de la situation dans la méthode SAGACE (Penalva, 1997)

Formellement, le modèle conceptuel de la méthode SAGACE est traduit dans un langage graphique à trois symboles (motifs de modélisation): boîte, flèche et ellipse pour représenter respectivement, un processeur, un flux et un observateur. Le processeur est l'élément de base dans le modèle de situation. Il effectue des transactions avec son environnement (sur l'axe horizontal) et il est soumis à l'influence de son milieu par des interactions (axe vertical).

Ces motifs sont définis par rapport à un point de vue particulier (organique, fonctionnel ou opérationnel) selon le domaine d'étude abordé (figure III-28). Ainsi, le point de vue organique représente les noms des processeurs et des observateurs. Le point de vue fonctionnel se focalise sur les missions et enfin, le point de vue opérationnel s'intéresse aux activités par l'intermédiaire des processus.

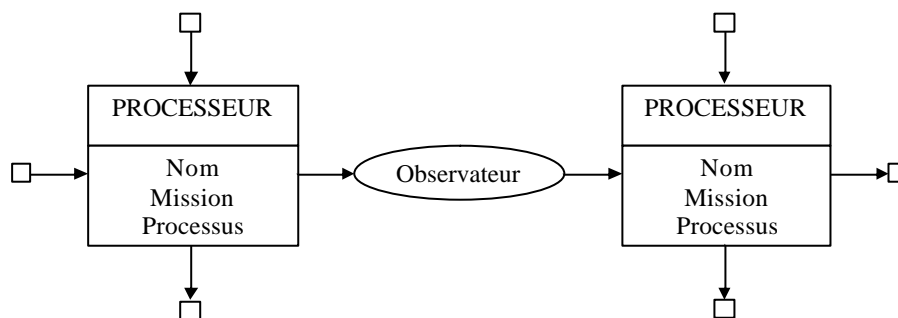


Figure III-28. Langage graphique de la méthode SAGACE (Penalva, 1997)

I.2.4. Le modèle du contexte dans l'outil DypKM

Le modèle de mémoire de projet proposé par [Bekhti, 2003] (voir chapitre I) intègre une description du contexte d'un projet à travers une classification des éléments pertinents dans la logique de conceptions selon deux catégories principales (figure III.29) :

- L'environnement de travail regroupe toutes les composantes du projet représentant les différents moyens et outils utilisés ainsi que les contraintes, obligations et règles à respecter. Dans l'environnement de travail, on peut trouver par exemple, les moyens de communication, les outils utilisés, les techniques employées, les documents de référence, le coût du projet, le planning à respecter, etc ...

- L'organisation du projet regroupe l'ensemble des éléments en rapport avec la structure du projet et la manière dont ils sont organisés. Il s'agit de l'objectif du projet, des participants au projet, leurs rôles, leurs compétences et provenances (ou appartenances), ainsi que de la définition et de l'organisation des tâches à réaliser.

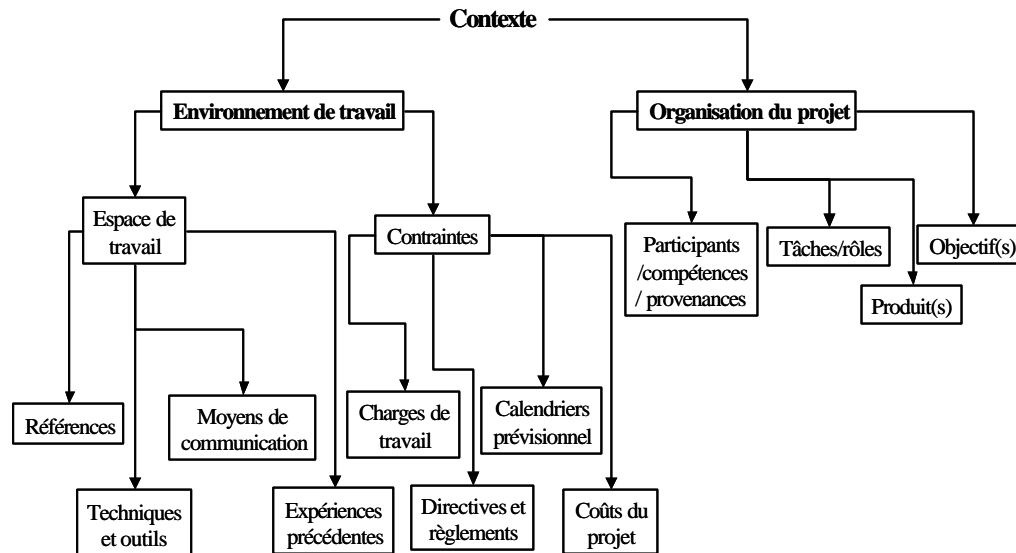


Figure III-29. Description du contexte de travail dans une mémoire de projet (Bekhti 2003)

La représentation du contexte dans cette méthode présente l'avantage d'être une forme de taxonomie présentant une classification hiérarchique des différents concepts : contexte, environnement et espace de travail. Elle reste cependant, partielle et non exhaustive. La distinction entre l'environnement de travail et l'organisation du projet peut sembler discutable.

I.2.5. Le modèle de Houssin pour la prise en compte des situations à risque en conception

Le modèle proposé représente la situation de travail d'un utilisateur du point de vue sécurité et dangerosité. L'objectif est de proposer un support technique et méthodologique aux concepteurs dans leurs tâches d'évaluation des choix techniques et des décisions, et dans une optique de gestion des risques d'utilisation des systèmes de production [Houssin, 2002]. Ce modèle conceptuel vise à intégrer, dès la phase de conception, les contextes d'utilisation et le comportement du système de production.

La situation de travail prend en compte le système et l'équipe de travail ainsi que d'autres entités (tâches, auxiliaires, zones, risques, etc.) pertinentes pour représenter une activité de conception de systèmes à risques.

Dans ce modèle (figure III.30), pour la description de la situation de travail, nous distinguons trois catégories de concepts :

- représentant des éléments physiques : système, équipe de travail, auxiliaire.
- décrivant le danger et le risque : risque, zone dangereuse, évènement dangereux et phénomène dangereux.
- reliant les concepts précédents comme la "tâche" à réaliser qui crée une interaction entre le système, l'équipe de travail et le mode d'intervention ou la "situation de travail" qui crée une interaction entre plusieurs éléments.

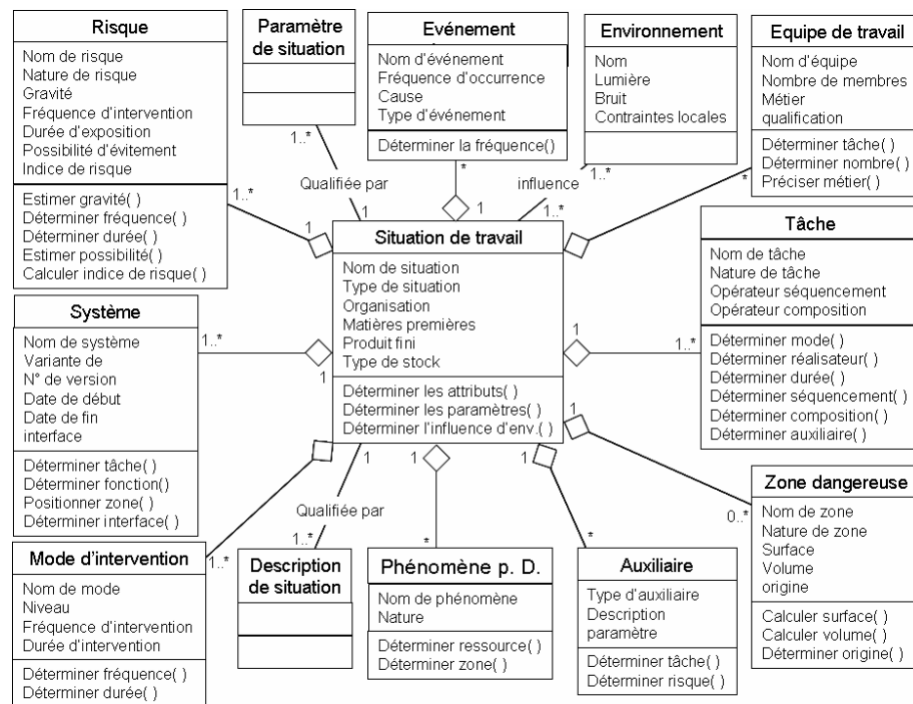


Figure III-30. Modèle de situation de travail de (Houssin 2002)

En plus de ces concepts, le modèle de Houssin comporte d'autres concepts usuels dans les systèmes de capitalisation de connaissances dédiés à la conception : les fonctions à remplir par le système, les solutions techniques ainsi que la notion de points de vue.

I.2.6. Le modèle KnowledgeScope (mémoire d'organisation)

Sans citer le mot situation, [Kwan & al.2003] proposent un modèle UML de ce concept dans une optique de réalisation d'une mémoire organisationnelle intégrant les informations contextuelles. Le système de connaissances proposé a pour objectif d'intégrer la capture des connaissances dans les processus organisationnels en tenant compte du contexte de création et d'utilisation de ces connaissances. Les éléments du contexte organisationnel sont structurés dans ce modèle à travers quatre vues complémentaires (figure III.31) :

- **La vue fonctionnelle** traduit les différents objectifs organisationnels ainsi que les étapes de processus de transformation portant sur les informations et les objets.

- **La vue comportementale** décrit la réalisation des activités, le fonctionnement et le contrôle des différentes procédures à travers les différents déclencheurs.
- **La vue informationnelle** englobe différentes informations manipulées par un outil et / ou produites au cours des activités opérationnelles ou de KM.
- **La vue organisationnelle** comporte deux types d'informations : un inventaire des ressources intervenant dans la réalisation des tâches et une description de la structure organisationnelle à travers les différents rôles que peuvent tenir les acteurs.

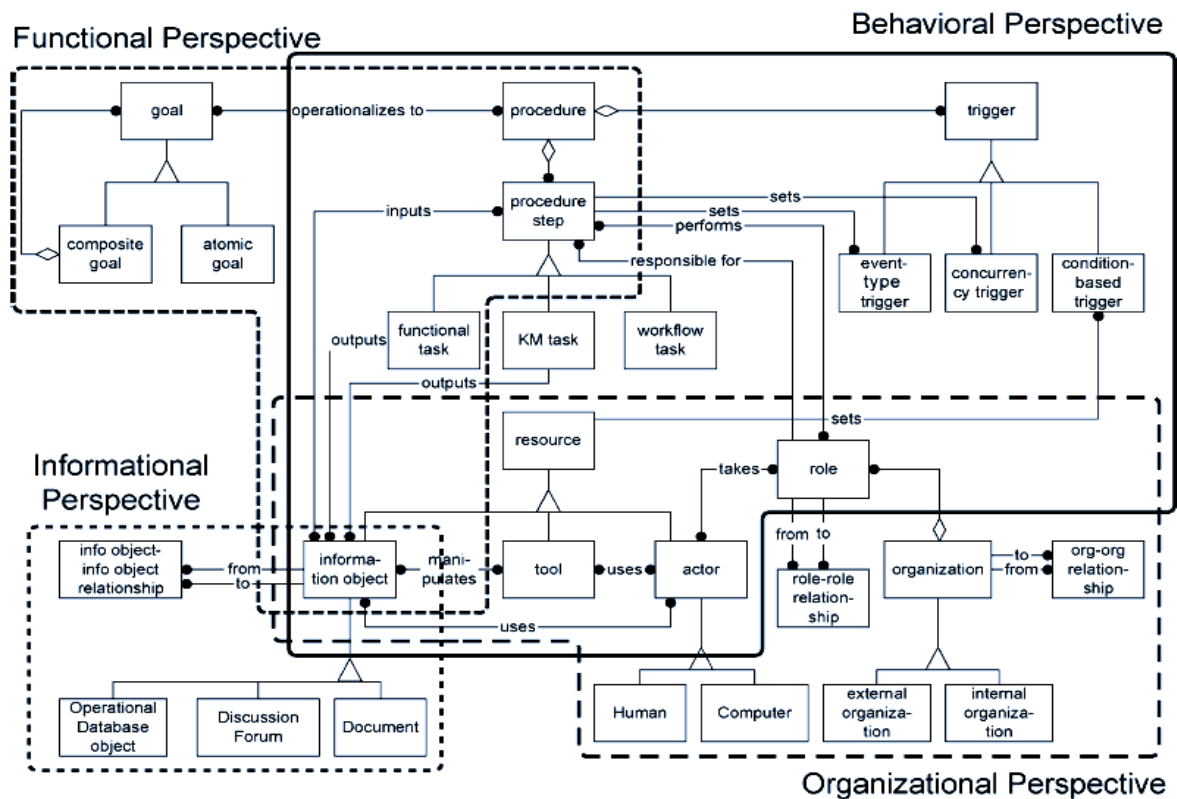


Figure III-31. Modèle KnowledgeScope d'une mémoire d'organisation (Kwan & al., 2003)

La description des éléments clés de la situation est regroupée dans les vues organisationnelle et fonctionnelle du modèle : acteur, outil, objectifs, tâche, informations (en tant qu'objets) et le processus ("procedure" dans le modèle). On retrouvera dans nos modèles ces éléments de base. Le concept de "rôle" joué par un acteur dans une activité ("procedure step" dans le modèle) est important. Il correspond ici à une position dans l'organisation. Le concept de "procedure" permet de relier l'activité de l'acteur aux différents objectifs de l'organisation. Trois types de tâche sont distingués dans le modèle : des tâches fonctionnelles portant sur l'objet (de nature informationnelle ici), des tâches de gestion des connaissances ("KM task") et des tâches de gestion des flux d'information ("workflow task").

I.3. Caractéristiques du concept de situation

De notre étude bibliographique, nous retenons six caractéristiques fondamentales de la situation de travail que nous présentons dans cette partie. Ces caractéristiques peuvent être considérées comme des spécifications pour un modèle de la situation.

I.3.1. La situation est un système

Du point de vue de l'acteur intervenant dans la situation ou de celui de l'observateur, la situation peut être considérée comme un système complexe (au sens du premier principe de la systémique [Searle, 1998]), qui n'a de raison d'exister que par rapport à un acteur ayant sur celui-ci une intention. Au regard de l'observateur ou de l'acteur qui définit sa situation, cette dernière est identifiée comme quelque chose qui a un sens et de la cohérence. Cette cohérence est justifiée par l'existence de liens de causalité entre les différents éléments de la situation.

Nous retrouvons dans le concept de situation les éléments descriptifs d'un système au sens de la définition de [Le Moigne, 1990] : « *un système est quelque chose (identifiable) qui fait quelque chose (activité, fonction) et qui est doté d'une structure, qui évolue dans le temps et dans quelque chose (environnement) pour quelque chose (finalité)* ». Un observateur se représentant une situation dans le cadre d'un projet d'intervention élabore un système de représentation, au sens précédent du mot système. La structure et les limites de ce "système de situation" sont déterminés par le champ perceptif de l'acteur qui se crée une représentation de la situation ou uniquement, par le champ de focalisation que porte cet acteur sur certains éléments pertinents dans son environnement.

La situation est donc un système dont la principale fonction est de servir d'outil pour aider l'acteur à (se) représenter le monde qui l'entoure et comprendre les liens qu'il a avec ce dernier. Cette situation ainsi construite deviendra une entité émergeant et évoluant dans un environnement plus global construit à partir des différentes situations propres aux autres acteurs. Cette propriété est à la base de notre analyse, les autres caractéristiques en découlent.

I.3.2. Un double regard sur la situation

La situation de travail peut être considérée selon deux regards différents :

Le premier est celui de l'intervenant principal (l'acteur) qui se construit une représentation, logique selon lui, de tout ce qui peut intervenir, directement ou indirectement, dans la réalisation de son activité.

Le deuxième est celui d'un observateur externe. Cet observateur peut être le manager prescripteur qui définit (progressivement ou définitivement) un espace organisé de travail pour produire un résultat attendu ou celui d'un modélisateur qui souhaite représenter cette situation.

I.3.3. La situation est un concept "relatif et interprétatif"

Une situation ne peut être définie indépendamment de l'action et du sujet qui la définit relativement à cette action. La représentation de la situation dépend du protocole d'observation, qui influe sur la structure et le devenir de cette situation [Miermont 95]. Ceci dépend du filtre développé par le centre d'attention qui se focalise uniquement sur des éléments pertinents pour le sujet par rapport à la finalité de son action.

La situation est le résultat d'une perception et d'une construction cognitive. Elle n'a pas de signification absolue et unanime. Plus concrètement, l'action de l'acteur n'est pas le résultat de l'état brut de son environnement mais de la représentation que se fait cet acteur de son environnement. Il existe une réalité "bien réelle" dans laquelle nous évoluons tous, et une structure cognitive de cette réalité que nous créons à partir du sens que nous conférons à cette réalité. Ceci est lié au fait que nous projetons un double filtre sur le monde qui nous entoure : d'abord par les cinq sens, puis aussi par la pensée et la reconstruction mentale qui s'élabore par l'expérience en fonction de l'intérêt que nous donnons à certains éléments de la situation selon nos besoins et nos finalités d'action (de décision, d'intervention...). Dans notre travail, nous utiliserons le nom "situation" pour désigner la partie **utile** de la situation observable (elle-même une partie de l'environnement global) par rapport à un acteur individuel ou collectif.

I.3.4. La situation est un espace d'interactions

Comme tout système, la situation peut être vue comme un ensemble d'éléments en interaction au sens de [Rosnay 1975]. L'approche systémique peut donc être utilisée pour « *définir les limites du système à modéliser, à identifier les éléments importants et les types d'interaction entre ces éléments* » [Foulard 1994].

Le modèle de [Rabardel 1993], présenté en partie I.2.2, met en évidence trois éléments clés d'une situation de travail : le sujet, l'objet et l'instrument. Partant de cette typologie, nous pouvons identifier trois types d'interactions dans les situations de travail :

- **Matériel – matériel** : ce type d'interactions, plutôt de nature physique, définit les rapports de "contact" entre des "entités" matérielles. Ce sont des interactions de type objet-objet ou objet-instrument (espace de travail selon [Rabardel 1993]).
- **Cognitif – matériel** : ce type d'interactions se présente lors de l'utilisation et du contrôle d'un système physique vu comme un objet ou un instrument. Pour [Rabardel 1993], c'est l'espace maître défini par les interactions sujet-instrument et l'espace de contrôle direct : sujet-objet.
- **Cognitif – cognitif** : ces interactions traduisent principalement les aspects collectifs du travail, c'est-à-dire, les échanges coopératifs entre les individus. Ce type d'interactions (sujet-sujet) n'a pas été défini clairement par [Rabardel 1993].

Dans les situations de conception, cet espace d'interactions a été mis en évidence par des études empiriques et théoriques [Micaëlli &al., 2003]. Ces auteurs parlent de situation **minimale** de conception qui fait **interagir** en temps fini **au moins** deux acteurs, dont chacun a une vue différente de l'artefact¹. Le premier est appelé demandeur. Il exprime un besoin et s'intéresse à l'usage de l'artefact final. Le second est appelé réalisateur. Il est chargé de la réalisation, du chiffrage et de la fabrication de l'artefact.

I.3.5. La situation est un concept à dimension évolutive

Chaque interaction peut produire un changement d'état sur un ou plusieurs éléments de la situation, voire la production de nouveaux éléments. Ceci peut conduire à une modification de la structure de la situation ou de certaines de ses propriétés.

Dans une situation de conception, par exemple, l'acteur modifie, par son action, la situation. L'évolution de la situation va se manifester par la génération de nouveaux concepts ou l'appropriation de nouvelles connaissances par les acteurs de conception [Hatchuel &al.,2002].

I.3.6. La situation est une source de connaissance

La situation comporte un ensemble d'informations comportant un sens pour l'acteur cognitif qui va représenter (ou se représenter) cette situation. Nous posons l'hypothèse que l'une des principales raisons d'échec d'une activité (d'un projet) est la négligence ou la sous estimation de l'importance de certains éléments de la situation. Ces éléments peuvent être vus comme de nouvelles connaissances que l'intervenant doit posséder ou acquérir en cours d'action.

Dans le cadre du projet SART (Système d'Aide à la Régulation du Trafic) qui a pour objectif la réalisation d'un système intelligent d'aide à la décision pour les responsables de la régulation du trafic sur une ligne de métro en situation d'incident, [Brézillon &al., 1999] expliquent cette propriété et distinguent trois formes complémentaires de connaissances sur le contexte:

- **Les connaissances génériques externes** (external knowledge) qui ne concernent pas le problème en cours mais sont disponibles, observables et, peuvent être partageables par les acteurs de la situation.
- **Les connaissances contextuelles** (contextual knowledge) qui sont des connaissances sur le domaine, relatives à la résolution du problème en cours et qui peuvent être mobilisées et utilisées par l'acteur de la situation.
- **Les connaissances procédurales** (proceduralized knowledge) qui sont une partie des connaissances contextuelles qui ont été appelées et structurées (éventuellement sous forme de procédures) par rapport à un besoin particulier dans la résolution du problème.

¹ Artefact : entité, tangible ou non, conçue pour répondre à des besoins.

II. DIFFERENTS ASPECTS DE LA SITUATION

Nous considérons la situation comme un système finalisé dont les constituants interagissent et évoluent sous l'effet de ces interactions. La structure de la situation est définie à travers trois éléments de base nécessaires pour avoir une naissance et un aboutissement de tout projet en conception : les objectifs, les ressources et les résultats.

II.1. Les objectifs

Ils traduisent les résultats attendus à la fin du projet de conception pour satisfaire les besoins d'un client. Dans les activités de conception, ces objectifs ont une dimension dynamique et ne sont pas toujours connus complètement au début du projet.

II.2. Les ressources

C'est tout ce qui va participer, directement ou indirectement, voire être consommé ou utilisé dans le projet de conception. Le changement d'état d'une des ressources (indisponibilité, panne, etc.) peut influencer sur la structure de la situation.

II.3. Les résultats

Ils concernent toutes les entités qui vont être produites ou modifiées au cours et à la fin du projet de conception. L'occurrence de nouveaux résultats intermédiaires ou finaux modifie la structure de la situation. La pertinence de ces résultats est évaluée relativement aux objectifs du projet.

La situation de conception peut être représentée d'un côté avec les entités et d'un autre côté, à travers des interactions spécifiques entre ces entités de base pour construire ainsi l'image complète du projet. Au regard d'un manager, ces nouvelles dimensions peuvent être observées comme des axes de pilotage du projet où chaque axe comporte des réponses à une ou à plusieurs questions.

II.4. L'axe Objectifs – Ressources

Un projet de conception (en tant qu'activité) existe pour répondre à des objectifs spécifiques. L'acteur (individuel ou collectif) chargé de l'obtention de ces objectifs va procéder à une organisation des ressources qui sont disponibles afin de mener à bien sa mission.

L'axe objectif-ressources renseigne sur l'appartenance des ressources à la même communauté. En d'autres termes, il fournit une réponse à la question :

Comment les ressources sont-elles structurées en fonction des objectifs des projets et de l'entreprise ?

II.5. L'axe Objectifs – Résultats

Les résultats du projet sont obtenus par la réalisation d'activités relativement à des prescriptions définies à partir des objectifs sous forme de tâche, mission ou processus (ces concepts seront développés dans la section III.4). Le passage des objectifs vers les résultats nécessite donc la réalisation d'une activité (associée à la prescription) par un acteur (individuel ou collectif).

L'axe objectifs-résultats renseigne sur la structuration des objectifs du projet en termes de prescriptions. En d'autres termes, il fournit une réponse à la question :

Comment les objectifs sont-ils organisés en tâches, processus et missions pour aboutir aux résultats du projet ?

II.6. L'axe Ressources – Résultats

La réalisation de l'activité qui permet le passage des objectifs aux résultats implique la mise en œuvre d'un ensemble de ressources humaines et matérielles. L'axe ressources-résultats renseigne sur la manière avec laquelle les ressources ont été déployées pour arriver aux résultats. Cet axe répond à deux questions complémentaires :

La première question s'intéresse à la façon de travailler de la ressource (ou comment elle réalise l'activité). En d'autres termes :

Que fait chaque ressource, et comment le fait-elle pour obtenir des résultats (en cohérence avec les objectifs) ?

La deuxième est une traduction des différentes formes collaboratives entretenues par les ressources (voir chapitre I, § I.3 pour la caractéristique collaborative de l'activité de conception). En d'autres termes :

Avec qui, et selon quelles modalités, les ressources (humaines) travaillent-elles pour arriver aux résultats ?

Les différents aspects de la situation nous conduisent à considérer trois types d'interactions complémentaires pour représenter une situation :

- Les interactions communautaires se situent sur l'axe "objectifs – ressources",
- Les interactions transactionnelles se situent sur l'axe "ressources- résultats",
- Les interactions opérationnelles se situent à la fois sur l'axe "objectifs – résultats" pour la définition des prescriptions et l'axe "ressources – résultats" pour la réalisation des prescriptions.

Notons à titre indicatif que les mêmes éléments (objectifs, ressources et résultats) sont communément employés en évaluation de performance [Bescos 1995] pour définir la pertinence, l'efficacité et l'efficience des activités. Nous ne nous positionnons pas dans cette logique.

La situation de travail comprend deux aspects complémentaires : un aspect physique qui regroupe tous les éléments matériels et tangibles de la situation et un aspect abstrait, qui concerne les éléments intangibles se présentant souvent sous forme de relations ou d'interactions. Notre modèle utilise deux nouveaux concepts pour prendre en compte en compte ce double aspect de la situation (figure III-32). Le premier, noté "entité de base" relevant du domaine du concret et le deuxième, relevant plutôt du domaine de l'abstrait et nommé "entité interactionnelle" [Belkadi &al. 2004b].

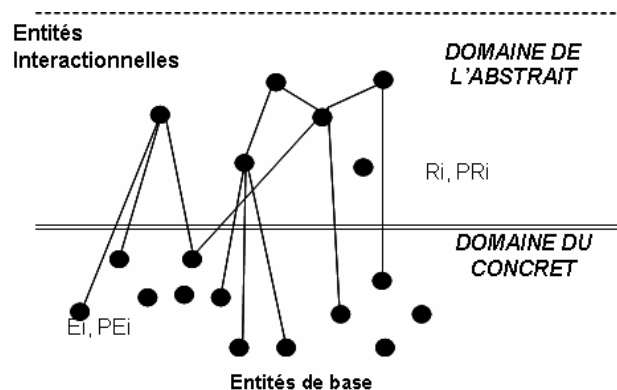


Figure III-32. Concept "entité – relation" adapté pour modéliser la situation

III. CONCEPTS ET DEFINITIONS

Le cadre conceptuel que nous présentons par la suite, a pour but de clarifier les différents concepts que nous utilisons dans les modèles de la situation et permet d'en faciliter la lecture.

III.1. Notre définition du concept de situation

Nous pouvons maintenant énoncer notre définition du concept de situation en tenant compte des précédentes caractéristiques ainsi que des réflexions présentées ci-dessus. Nous nous basons sur les caractères "interactionnel" et "relatif" de la situation [Belkadi &al., 2004a]. Nous posons comme définition :

La situation est un ensemble d'entités et d'interactions de différentes natures qui caractérise de façon globale l'organisation, selon le point de vue d'un acteur ou d'un observateur, de l'environnement externe, dans lequel cet acteur mobilise sa compétence.

Cette définition introduit trois idées fondamentales conformément aux propriétés des systèmes

- La situation est incluse dans l'environnement externe de l'acteur. Cependant, elle se distingue de ce dernier par le fait qu'elle possède une structure organisée.
- Cette forme d'organisation est relative à un regard particulier qui est celui de l'acteur ou d'un observateur qui a un objectif de compréhension ou d'intervention sur les éléments de la situation ou sur sa représentation.
- Finalement, la situation est le terrain de mobilisation de la compétence pour un objectif donné, une activité finalisée.

Nous utilisons ici deux concepts fondamentaux souvent utilisés dans la modélisation des systèmes : "**entité**" et "**relation**" (représentant les interactions). Dans le cadre du développement d'ontologies d'entreprise, [Uschold &al.,1998] ont proposé les définitions suivantes pour ces deux concepts :

- **Une entité (Entity)** : est "quelque chose de fondamental dans un domaine modélisable qui peut s'associer avec d'autres entités pour créer la structure de l'organisation". Un concepteur, par exemple, est une entité du domaine de conception.
- **Une relation (Relationship)** est «la manière avec laquelle deux entités ou plus sont associées pour former la structure de l'organisation ». Toutefois, une relation peut elle-même être considérée comme une entité qui participe à son tour à d'autres relations.

L'état d'une situation peut être défini à chaque instant à partir d'une combinaison d'un ensemble d'entités associées par diverses relations formant ainsi une structure particulière.

Dans la même ontologie de Uschold, deux autres concepts ont été identifiés pour compléter la description d'une organisation et améliorer sa compréhension :

- L'"attribut" qui permet de paramétrer les caractéristiques d'une entité ou d'une relation,
- Le "rôle", qui signifie globalement pour [Uschold & al., 1998] : « *la façon avec laquelle une entité va participer dans une relation* ». Nous allons revenir plus en détail sur ce concept et montrer comment nous l'utiliserons dans nos modèles de situation.

Une dernière propriété, aussi importante, concerne la possibilité de généraliser ou de spécifier les concepts "entité" et "relation" par le biais des concepts : "classe" et "instance". Le premier, "classe", permet de regrouper un ensemble d'entités (ou de relations) de même type ou possédant la même catégorie de caractéristiques. Le second, "instance", précise une entité particulière (ou relation) du domaine en donnant des valeurs à ses attributs.

Ce principe d'abstraction permet de faciliter la lecture et la compréhension de certains phénomènes complexes en réduisant le champ d'observation à une vue globale sur des familles d'entités reliées par des familles de relations de même nature ou à l'inverse de se focaliser sur un cas particulier pour ensuite, le généraliser.

Le traitement direct des systèmes complexes par l'acteur cognitif est souvent confronté à la contrainte de "rationalité limitée" [Simon, 1991]. Ceci nécessite parfois, quand le système le permet, le recours à des découpages successifs de cette complexité afin de la réduire avant de la traiter. Une situation peut être qualifiée de **complexe** si elle est très riche en informations comportant des ambiguïtés de sens, et si elle se manifeste comme très difficile à comprendre, à maîtriser, à suivre ou à anticiper par rapport à ses évolutions.

III.2. Définition des concepts "entité"

III.2.1. Définition d'une "Entité de base"

Par ce concept, nous représentons l'aspect physique de la situation. Conformément à notre définition de la situation ainsi qu'aux définitions du concept entité proposées dans la littérature [Uschold & al., 1998], nous définissons une "entité de base" comme :

« Quelque chose dans un domaine modélisable, de tangible généralement, qui peut rentrer en interaction avec d'autres entités, selon un rôle spécifique, pour construire la structure d'une situation »

Une entité de base peut donc être une ressource matérielle ou un individu humain ayant la capacité de participer, directement ou indirectement, à une interaction de la situation, soit dans le but déclaré de contribuer à l'obtention des objectifs prescrits, soit pour représenter une forme de contrainte de l'environnement général.

Le produit, les outils de représentation, les outils de calcul etc. sont des exemples d'entités de base pouvant participer à une activité de conception. Nous présenterons les détails de ces entités dans la partie modélisation.

III.2.2. Définition d'une "Entité interactionnelle"

Par ce concept, nous représentons l'aspect abstrait de la situation. L'entité interactionnelle est proposée pour représenter les différentes interactions entre les éléments de la situation. Nous définissons une "entité interactionnelle" comme :

« Quelque chose dans un domaine modélisable, d'intangible, qui associe deux entités ou plus, selon des rôles spécifiques pour chacune, afin de former une interaction ayant un sens dans une situation »

L'entité interactionnelle se distingue de l'entité de base par la présence d'un résultat associé traduisant le produit de l'interaction. La dynamique de l'évolution de la situation, ou le passage d'un état de la situation (à un instant t) à un autre état (instant $t+1$) est le résultat conjoint de l'ensemble des interactions actives à l'instant t , et de la propagation (influence indirecte) de ces résultats sur les autres éléments présents dans la situation. Le résultat intermédiaire peut être observé par la création, la suppression ou la modification de certains éléments, tels que des objets intermédiaires en conception [Blanco, 1998]. Nous proposons une typologie de quatre formes d'"entités interactionnelles" (E.I.) présentes dans la situation de travail : E.I. communautaire, E.I. transactionnelle, E.I. contrainte et E.I. opérationnelle. Cette typologie sera détaillée dans le chapitre IV.

III.3. Définition du concept de "rôle spécifique"

Le concept de rôle est un concept multidisciplinaire possédant plusieurs significations selon le domaine d'application [Sübmilch-Walther, 2002]. En sociologie, ce concept est associé aux attitudes et aux croyances culturelles relatives à une position sociale comme le précise [Shaw, 1982] dans sa définition : « *Un rôle est un ensemble de fonctions remplies par une personne lorsqu'elle occupe une position particulière dans un contexte social donné* ». D'autres approches rattachent le rôle un ensemble de fonctions à accomplir, à partir de l'application de certaines compétences [Hermosillo 2003]. Ce dernier propose une typologie de quatre rôles : opérationnel, décisionnel, informationnel et interpersonnel.

Dans les théories classiques des organisations, la distinction entre les différents rôles qu'occupent des personnes, est faite relativement aux positions hiérarchiques de ces personnes dans l'unité organisationnelle [Rosemann & al., 1998]. L'organisation est vue dans ce cadre comme un réseau de rôles définis par un ensemble de tâches et une position dans l'organisation [Singh, 1992]. Dans le modèle "Interconnected roles" proposé par cet auteur, le concept de rôle est décrit par son contenu qui peut comprendre des opérations, des objets etc. et des interactions avec d'autres rôles. Dans un autre sens, [Aubert & al., 1997] définit le rôle comme : « *un ensemble de comportements reliés à une position dans l'organisation* ».

Enfin, dans les sciences informatiques et les systèmes d'information, ce concept est associé à la notion de gestion des droits d'accès aux données pour les utilisateurs. Chaque rôle est défini par toutes les opérations autorisées dans le cadre d'une interaction homme – machine.

Dans toutes ces définitions, le terme "rôle" est associé à un ensemble de tâches, de fonctions ou de comportements spécifiques par rapport à une mission plus globale de l'organisation. Si l'organisation est observée comme une entité interactionnelle, le concept de rôle permet de distinguer les différents éléments de cette organisation à partir d'une classification globale des contributions de chacun dans le fonctionnement de cette entité interactionnelle. Nous distinguons trois grandes familles de contributions qui nous permettent d'identifier trois rôles majeurs associés aux différentes parties de l'organisation :

Le premier concerne les membres qui forment la base de l'organisation ou encore, qui sont les "**acteurs directs**" générant son produit final. Par exemple dans le modèle de [Mintzberg, 1982], (figure III-33), ces acteurs sont concentrés principalement dans le centre opérationnel.

Le deuxième "rôle majeur" concerne les membres qui ont le pouvoir de gérer, chacun à son niveau, d'autres interactions de l'organisation. Ce rôle est nommé "**manager**". Dans le modèle de Mintzberg, ceci correspond au sommet stratégique et à la ligne hiérarchique.

Enfin, la dernière catégorie concerne les membres qui contribuent indirectement aux objectifs de la mission. Cette catégorie est représentée comme à l'extérieur du noyau de l'organisation et elle est vue comme le "**support**" de l'organisation. Dans le modèle de Mintzberg, ceci correspond aux fonctions de support logistique et à la technostructure.

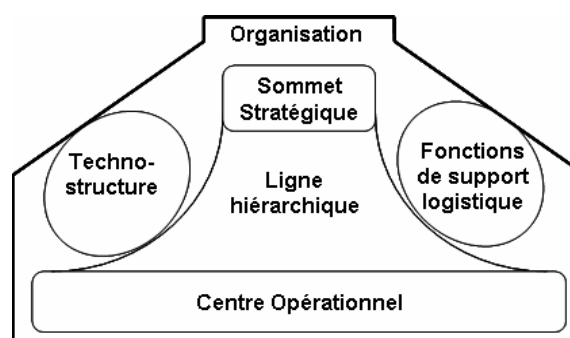


Figure III-33. Exemple d'une structure d'organisation selon (Mintzberg, 1982)

Considérons maintenant l'organisation comme un espace d'interactions et intéressons-nous à l'un de ses sous systèmes. Soit par exemple, une fonction de support logistique telle que le service de maintenance. Ce service peut à son tour être observé comme une forme d'organisation ou une entité interactionnelle comportant à son tour un, ou des, "managers" qui sont en relation avec la ligne hiérarchique de la sur-organisation pour superviser le bon fonctionnement de la nouvelle sous-organisation. Les agents de maintenance sont les "acteurs directs" de cette sous-organisation, chargés d'assurer la mission de ce service.

De la même manière, si nous nous intéressons à ce que fait réellement chacun des membres de l'organisation (dimension opérationnelle), nous pouvons identifier les mêmes familles de contribution. Le membre qui réalise directement l'activité est l' "acteur". Ceux qui fournissent une aide pour la réalisation ainsi que les outils utilisés durant la réalisation contribuent comme "supports" à la réalisation de l'activité. Enfin les différentes contraintes et les membres de l'organisation qui régulent la réalisation sont les "managers".

Cette démarche systémique nous conduit à considérer le concept de rôle par rapport à la signification qu'il porte dans un espace interactionnel donné indépendamment du niveau hiérarchique de cet espace et de la nature de cet espace (opérationnel, communautaire, ...). Nous proposons de définir un nouveau concept que nous appelons "**rôle spécifique**". Notre définition est proche de la définition du mot "rôle" proposée par [Uschold & al., 1998] qui le définit par rapport à une relation :

« Un rôle spécifique traduit la manière par laquelle une entité participe à une entité interactionnelle dans une situation »

III.3.1. Propriétés du concept de rôle spécifique :

L'attribution d'un rôle à une entité n'est pas une attribution définitive ou figée telle que dans les théories classiques mais dépend de la durée de vie de l'entité interactionnelle à laquelle cette entité est associée. Cette propriété implique que pour chaque entité du domaine nous pouvons identifier un ou plusieurs rôles spécifiques distincts dans une ou plusieurs entités interactionnelles selon le regard de l'observateur de la situation.

Nous notons enfin une autre différence majeure de notre proposition par rapport aux définitions usuelles : pour nous, le concept de "rôle spécifique" peut être associé à n'importe quelle forme d'entité (de base ou interactionnelle) et **pas seulement** à des individus humains.

III.3.2. Notre typologie de rôles spécifiques :

Nous avons défini cinq types de rôles spécifiques :

- **Le rôle spécifique "Acteur"** est une réponse à la question "qui fait quoi ?", quoi étant l'entité interactionnelle associée. La liste d'entités associée à ce rôle, regroupe les entités qui participent directement à l'interaction et sont responsables de son résultat.
- **Le rôle spécifique "Client"** est une réponse à la question "pour qui ?". Il regroupe toutes les entités qui ont des attentes sur le résultat final de l'entité interactionnelle associée à ce rôle.
- **Le rôle spécifique "Manager"** est une réponse à la question "en fonction de quoi ou de qui ?". Une entité est associée à ce rôle si elle fournit des prescriptions ou des limitations sur le déroulement de l'entité interactionnelle associée.
- **Le rôle spécifique "Support"** est une réponse à la question "avec quoi ?". Il regroupe toutes les entités qui fournissent une aide à la réalisation de cette interaction.
- **Le rôle spécifique "Objet"** est une réponse à la question "sur quoi ?". Il regroupe toutes les entités qui sont traitées ou concernées directement par les effets de l'entité interactionnelle associée.

Le tableau (III-5) résume les principales propriétés de chacun des rôles spécifiques, nous y reviendrons plus en détail dans la partie suivante:

RÔLE SPECIFIQUE	PROPRIETES
ACTEUR	Est membre d'une entité interactionnelle communautaire
	Réalise une entité interactionnelle opérationnelle
	Participe une entité interactionnelle transactionnelle
CLIENT	Formule le besoin d'une entité interactionnelle
	Récupère le résultat final d'une entité interactionnelle
MANAGER	Régule le fonctionnement d'une entité interactionnelle
	Coordonne le fonctionnement de plusieurs entités interactionnelles
	Valide les résultats d'une entité interactionnelle
SUPPORT	Fournit une aide à la réalisation d'une entité inter ^{lle} . opérationnelle
	Est membre secondaire d'une entité interactionnelle communautaire
OBJET	Subit les transformations d'une entité interactionnelle

Tableau III-5. Typologie des "rôles spécifiques"

III.4. Distinction tâche – activité

Notre approche conceptuelle repose sur la distinction fondamentale entre prescription et réalisation. L'espace des prescriptions correspond à une traduction des objectifs à atteindre en termes de tâche, de mission ou de processus. L'espace de la réalisation correspond à ce qui a été réellement effectué pour atteindre ces objectifs (activité). La modélisation de cet espace fait appel aux concepts : acteur, activité et plan d'action. La définition des concepts précédents n'est pas unanime dans la littérature.

Comme nous avons besoin de comprendre et de manipuler clairement ces concepts par la suite, nous allons succinctement présenter les définitions que nous retenons dans ce mémoire. Ces définitions sont semblables à celles utilisées par des ergonomes [Leplat 1997], [de Montmollin, 1994], [Troussier, 1990] et ont été adoptées au sein du LAB depuis déjà plus de 10 ans [Hernandez 1995], [Lhote &al., 1999], ...

III.4.1. Objectif, tâche et mission

En ergonomie, la tâche indique généralement un objectif à atteindre dans le projet. Cet objectif peut être exprimé par l'état de l'objet traité (figure III-34). Le projet ACACIA [Hernandez 1995], [Dulmet &al.,2001] propose la définition suivante de la tâche :

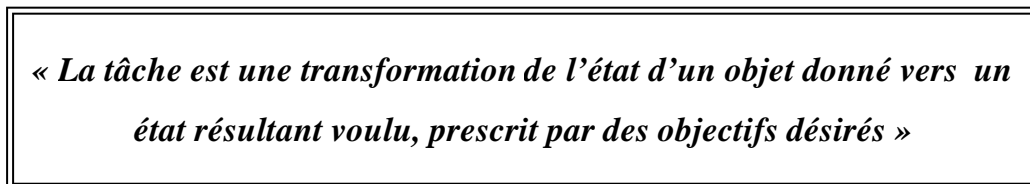


Figure III-34. La tâche: Transformation désirée sur l'état d'un objet (Hernandez 1995)

Le concept de **mission** permet de décrire une prescription. Il est défini à partir d'une tâche à laquelle on associe un cadre d'action donné [Bonjour &al., 2001]. Ce dernier représente la situation initiale de l'acteur (individuel ou collectif), qui va donner un "cadre" et en cela, contraindre le déroulement de la tâche [Bonjour &al., 2002]. Dans une entreprise, la mission est définie par sa contribution aux processus d'entreprise et doit être considérée comme ouverte (c'est-à-dire, pas complètement définie au départ) et évolutive [Genelot, 1992].

L'exemple suivant montre la description d'une prescription sous forme de la mission : "faire l'analyse des déformations de la pièce P avec la méthode des éléments finis, les résultats

seront donnés avec une précision de 1%". Cette phrase comporte plusieurs informations de nature différente :

- L'objectif principal est de faire l'analyse des déformations, cet objectif sous-entend un livrable attendu (coefficient d'élasticité, zones de contraintes maximales, ...),
- L'objet de la mission ou l'instanciation des valeurs du livrable (déformations d'une pièce P).
- Exigences sur la méthode à utiliser qui est une contrainte de réalisation (méthode des éléments finis).
- Exigences sur la précision à obtenir qui est une contrainte sur les résultats attendus (précision de 1%).

III.4.2. Processus

D'après la norme ISO 9000-2000 [AFNOR 2002] : *« Un processus est un système d'activités qui utilise des ressources pour transformer des éléments entrants en éléments de sortie »*. Cette définition considère l'activité comme un élément constitutif du processus. Elle a pour inconvénient d'une part, de considérer une activité et un processus comme étant de même nature et d'autre part, de ne pas séparer clairement le but à atteindre et les moyens mis en œuvre (espace de prescription et espace de réalisation).

En ce qui nous concerne, nous retenons la définition proposée dans [Dulmet, 2000]. Cette définition s'appuie sur la distinction tâche/activité et considère le processus comme étant de même nature que la tâche. Cette dernière étant l'élément constitutif du processus :

« Processus : agencement structuré et ordonnancé de tâches de finalités similaires relatives à un même type d'objets (matériels, informationnel, etc...) »

Contrairement à la définition des normes qualité ISO9000- 2000, cette définition n'introduit donc pas la notion de ressources. Nous verrons par la suite que l'attribution et l'organisation des ressources nécessaires pour réaliser un processus correspondent à l'élaboration d'un plan d'actions par un acteur donné. Une définition similaire est donnée dans [Bonjour &al., 2006] qui considère un processus comme étant *« un agencement ordonné de sous-processus, portant sur des objets intermédiaires de même type, et dont la fin est conditionnée par des critères de transition. Son objectif porte sur la transformation progressive des entrées en résultats attendus, représentant ainsi une chaîne de valeur ajoutée »*. Si une tâche peut être décomposable à son tour, elle peut être donc considérée comme un processus.

III.4.3. Activité et plan d'actions

La norme AFNOR a adopté la définition suivante de l'activité : « *Activité : une transformation d'un flux de matières et/ou d'informations sous l'influence d'un ensemble de contrôles et sous réserve de disponibilité de ressources nécessaires et de temps. Cette transformation peut être décrite par une combinaison d'opérations* ». Cette définition est à la base des modèles d'activités génériques développées dans différentes méthodes telles que IDEF, SADT [Pierreval 1990], et la méthode GRAI [Doumeingts 1984]. La même philosophie est observée dans d'autres travaux tels que le projet ACNOS [El Mhamedi, 1997, 1998], le projet AICOSCOP [Pourcel, 1995] ou encore les méthodes ABC [Bescos & al., 1995], BRP [Jacob, 1994], ...

Cette définition, très générale, peut s'appliquer aussi bien à une ressource matérielle ou humaine. Elle n'est pas en contradiction avec notre définition du concept de tâche. Cependant, nous pensons intéressant de préciser cette définition dans le cas de l'activité d'un acteur qui peut être un individu, un groupe voire une entreprise. Il s'agit alors de la réalisation d'une tâche par un acteur donné dans un environnement réel représentant ainsi l'interaction entre le sujet et la tâche [Troussier 1990]. Elle est d'ordre opérationnel est décrite dans un environnement dit de réalisation. Nous retenons la définition suivante du concept d'activité [Hernandez 1995] :

« L'activité consiste en un ensemble d'actions physiques et mentales, par lequel l'acteur met en œuvre les ressources matérielles et informationnelles dont il dispose, dans la situation réelle où il se trouve, pour accomplir au mieux la mission qui lui est confiée »

Notre définition rejoint partiellement celle proposée dans le cadre de la méthode CIMOSA [Vernadat, 1999] et qui synthétise le lien entre les concepts de tâches, d'activités, et d'opérations : « *Une activité est la transformation au cours du temps et dans un contexte donné, d'objets concrets ou abstraits, afin de répondre à un objectif défini, tout en respectant des contraintes extérieures et mobilisant différentes ressources. Cette transformation intervient par la réalisation d'un ensemble d'opérations matérielles qui sont organisées selon une logique donnée induite par l'objectif à atteindre. Une activité est l'accomplissement d'une tâche. Il s'agit en général d'une séquence d'opérations devant être exécutés en totalité par une ou plusieurs ressources dans un temps donné pour réaliser la tâche spécifique* ».

Au lieu de parler de séquence d'opérations qui est plutôt liée à la description des activités de production, nous avons introduit un concept proche, celui de plan d'actions qui est utilisé à la fois en psychologie cognitive et en management et est donc plus pertinent pour décrire une activité humaine. Il est défini dans [Bonjour & al., 2006] comme étant « *l'organisation*

préalable retenue par un acteur, pour mener à bien un projet (ou une mission) qui lui a été confié ». Cette organisation concerne à la fois la décomposition des objectifs de la mission en un agencement de sous-objectifs et l'attribution de ressources pour réaliser ces sous-objectifs.

La figure (III-35) est une synthèse de notre définition de l'activité [Belkadi &al. 2005a].

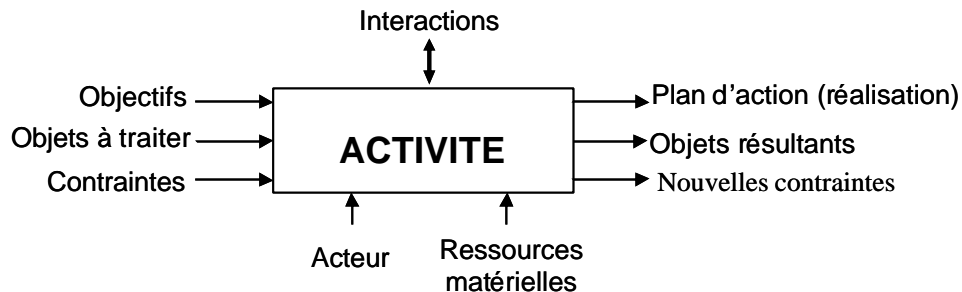


Figure III-35. Description conceptuelle de l' "activité"

III.4.4. Acteur

Le terme d' "acteur" désigne une ressource de nature humaine de l'entreprise, qui peut être individuelle ou collective. Un acteur individuel (resp. collectif) est un individu (resp. une organisation de travail) ayant reçu la responsabilité de réaliser une mission et agissant de manière permanente, temporaire ou occasionnelle, au service de l'entreprise considérée [Bonjour &al., 2006]. Il existe des acteurs collectifs de différents niveaux, depuis le "binôme" jusqu'à l'entreprise considérée dans sa globalité, en passant par toutes sortes d'intermédiaires : groupes de travail, équipes projet, métiers, filières-métiers, Direction de projet, usines, etc. Un acteur collectif peut être décomposé en acteurs de plus petits cardinaux, collectifs ou individuels.

Le concept d'acteur collectif n'est pas toujours bien accepté par les chercheurs en psychologie cognitive qui considèrent qu'un acteur est un sujet pensant. Cependant, ce concept est communément utilisé en génie industriel car il permet d'avoir une approche récursive de l'organisation d'une entreprise [Bonjour &al., 2005b] et des missions à assurer.

IV. CONCLUSION

Ce chapitre est une première contribution théorique pour éclairer certains concepts souvent manipulés dans la littérature avec des sens différents d'un domaine à un autre. La revue de littérature nous a permis d'identifier les propriétés de base du concept de "situation" et de proposer un cadre conceptuel propre à notre besoin de traçabilité et de pilotage des compétences.

Le concept de situation est un concept pluridisciplinaire, chaque discipline scientifique propose une définition et une représentation propre à son besoin et de ce fait, le modèle qui en résulte est plus ou moins complet et générique. Cependant, il y a consensus sur le fait qu'une situation ne se définit pas uniquement par les éléments qui la composent mais aussi par la contribution de ces éléments dans l'activité.

Ce constat nous a conduits à proposer une définition de la situation à travers deux concepts complémentaires : le premier, "entité", permet d'identifier les différents éléments d'une situation et de les classer en "entités de base" et "entités interactionnelles" qui renseignent sur les interactions produites dans une situation durant la réalisation d'une activité. Le deuxième, "rôle spécifique", permet de spécifier la contribution de chaque entité dans ces interactions.

Ce cadre conceptuel offre, à notre sens, assez de généricité pour être utilisé dans la représentation de plusieurs types de situations de travail tout en restant flexible pour des éventuelles adaptations. La deuxième spécificité de notre cadre conceptuel repose sur la distinction faite clairement entre les deux espaces des (objectifs/ prescriptions) et des (résultats/réalisation). Cette distinction est en cohérence avec la notion de performance qui reflète une "mesure" entre ce que veut atteindre un acteur (individuel ou collectif) et ce qu'il a réellement atteint par le biais des ressources qui sont disponibles.

La distinction entre ces deux espaces a un intérêt pour la compréhension et la manipulation du concept de la compétence (chap. II), élément fondamental de la performance. Elle permet aussi d'identifier, à travers la récursivité entre les concepts de processus et de plan d'actions, les frontières entre un acteur collectif et les "acteurs-composants" d'un point de vue opérationnel. Ainsi, l'acteur collectif "entreprise" qui définit les processus structurants de sa mission est considéré, après adaptation et affectation des tâches aux ressources, comme un acteur collectif qui déploie son plan d'action. Un "acteur-composant" (individuel ou collectif) définit à son tour son plan d'action qui peut être, pour le cas d'un nouvel acteur collectif, des sous processus associés à une affectation, etc. Nous avons donc une première vue de la structuration des objectifs indépendamment des moyens et une seconde vue, complémentaire et indissociable, des comportements de l'acteur qui répondent à ces objectifs.

Enfin, l'analyse des situations de travail peut être vue comme un support d'évaluation ou encore de diagnostic à partir de la caractérisation de l'aspect dynamique (évolution d'une situation dans le temps) sur la base du résultat conjoint des interactions. Cette question, à notre avis, mérite d'être étudiée dans le futur et d'être complétée par des outils dédiés à cette fin.

Dans le chapitre suivant, nous proposons une modélisation "graphique" avec l'outil UML de ces concepts pour représenter une situation de projet de conception.

Chapitre IV

Sommaire du chapitre IV

I. Pourquoi UML ?	96
II. Le modèle générique de la situation de travail.....	97
III. Modèles descriptifs du concept entité de base	97
III.1. La classe "Ressource_Humaine"	98
III.2. La classe "Ressource_Materielle"	98
III.3. La classe "Produit"	99
IV. Modèles descriptifs du concept d'"Entité Interactionnelle"	101
IV.1. Les entités interactionnelles communautaires	101
IV.2. Les entités interactionnelles transactionnelles	104
IV.3. L'entité interactionnelle contrainte	106
IV.4. Les entités interactionnelles opérationnelles	107
IV.4.1. La classe "projet" du point de vue des "objectifs"	108
IV.4.2. La classe "tâche" et la vue "mission"	112
IV.4.3. La classe "projet" du point de vue des "entités"	114
IV.4.4. L'activité, réalisation de la tâche	116
IV.4.5. Les actions élémentaires	117
V. Vers une démarche de traçabilité	123
VI. Conclusion.....	125

CHAPITRE IV

MODELISATION DES SITUATIONS POUR LA TRAÇABILITE EN CONCEPTION

Dans tous les domaines scientifiques, la modélisation est vue comme une étape fondamentale pour appréhender un problème dans tous ses aspects. Un modèle est une représentation abstraite et simplifiée d'un système afin de faciliter son analyse et sa compréhension. Il permet de guider l'analyste pour comprendre ou faire évoluer un système et donne un support commun de communication entre plusieurs acteurs de disciplines différentes.

Dans ce qui suit, nous utilisons le langage UML pour modéliser les concepts présentés dans le chapitre III. Nous allons introduire ce chapitre par une justification sur notre choix d'utiliser UML comme outil de modélisation. Nous présentons d'abord, le modèle générique de la situation qui servira à la structuration des connaissances. Nous détaillons ensuite les différents modèles descriptifs des entités de base et des entités interactionnelles.

Pour faciliter la compréhension, nous présentons au fur et à mesure quelques exemples d'utilisation de nos modèles dans un contexte industriel. L'exemple traité concerne la traçabilité d'un projet de conception d'un nouveau meuble TV. Ce projet a été réalisé par deux étudiants dans l'entreprise de conception et fabrication de meubles, "Parisot meubles". Le but du projet est à la fois industriel et pédagogique. Les étudiants ont été immergés dans les services création et conception technique et ont eu ainsi une vision transversale et globale du processus de développement de produits nouveaux, allant de l'étude de marché jusqu'à la réalisation du prototype.

Les propositions des étudiants ont été approuvées, phase par phase, par les responsables techniques de l'entreprise. Cela signifie selon nous, que les étudiants ont acquis et validé, à la fin de leur expérience, des compétences de concepteurs.

I. POURQUOI UML ?

UML (Unified Modeling Language, langage de modélisation unifiée) est un langage graphique de modélisation orienté objet issu de la fusion des méthodes objet OMT (Object Modelling Technique) et OOSE (Object Oriented Software Engineering), [Booch, 1996].

La modélisation UML fait appel à cinq concepts fondateurs [Muller, 1997] : l'**objet** est une unité atomique représentative formée à partir de l'union d'une structure, d'une identité et d'un comportement ; les **classes** regroupent des objets possédant des propriétés communes ; l'**héritage** permet de réaliser des relations entre les classes de type "père-fils" ; les **messages** servent de moyens de communication entre les différents objets ; le **polymorphisme** permet de décrire les caractéristiques d'un objet qui peut prendre plusieurs formes.

Notre choix pour une approche objet, et plus précisément le langage UML, est justifié par les avantages qu'offre cet outil, en particulier : la simplicité, l'adaptabilité à plusieurs types de domaine, la modularité et l'évolutivité des modèles.

La notion d'objet (qui considère tout ce qu'il y a dans le réel comme un objet qui naît, qui vit, qui interagit et qui meurt), permet de représenter les éléments d'un système selon une vision unifiée. Cette propriété s'adapte bien à notre besoin de modéliser la situation comme un ensemble d'entités en interaction.

La propriété d'héritage enrichit cette représentation en offrant la possibilité de regrouper les éléments présents dans la situation de conception selon leur nature principale. Du point de vue connaissance, l'héritage permet une meilleure structuration de cette dernière et une stabilité par rapport aux éventuels changements sur la situation.

Enfin, le langage UML permet de répondre aux objectifs immédiats de notre travail à savoir, modéliser les différents aspects de la situation de conception sur les deux dimensions statique et dynamique (description du domaine). À terme, les modèles que nous proposons pourront ainsi être directement exploités dans une application informatique.

UML dispose de neuf types de diagrammes pour décrire les différentes vues du système et ses différents comportements (voir annexe III) [Muller, 1997], [Roques, 2003]. Dans nos modèles, nous utiliserons les diagrammes descriptifs du domaine, principalement les diagrammes de classes. Afin de faciliter la compréhension, nous présentons certains diagrammes objets représentant des instanciations de nos modèles sur un exemple industriel. D'autres modèles dédiés à la description dynamique des entités seront proposés en annexe V.

Pour des besoins de traçabilité de l'évolution de la situation, la définition de chaque classe d'objets est enrichie par un ensemble d'attributs caractéristiques. Pour des raisons de simplification et de lisibilité, les attributs seront regroupés en annexe IV. Nous présentons les modèles par petits blocs sans les attributs, ni les méthodes.

II. MODELE GENERIQUE DE LA SITUATION DE TRAVAIL

Le modèle générique de la situation est une représentation graphique des concepts clés (situation, entité et rôles spécifiques) (figure IV-36). La classe "situation" est composée par un ensemble d'entités, de base ou interactionnelles. Chaque entité peut contribuer à une entité interactionnelle donnée avec un rôle spécifique précis. Cette propriété est représentée dans le modèle d'un côté par l'association "joue le rôle" et de l'autre par l'association "comporte".

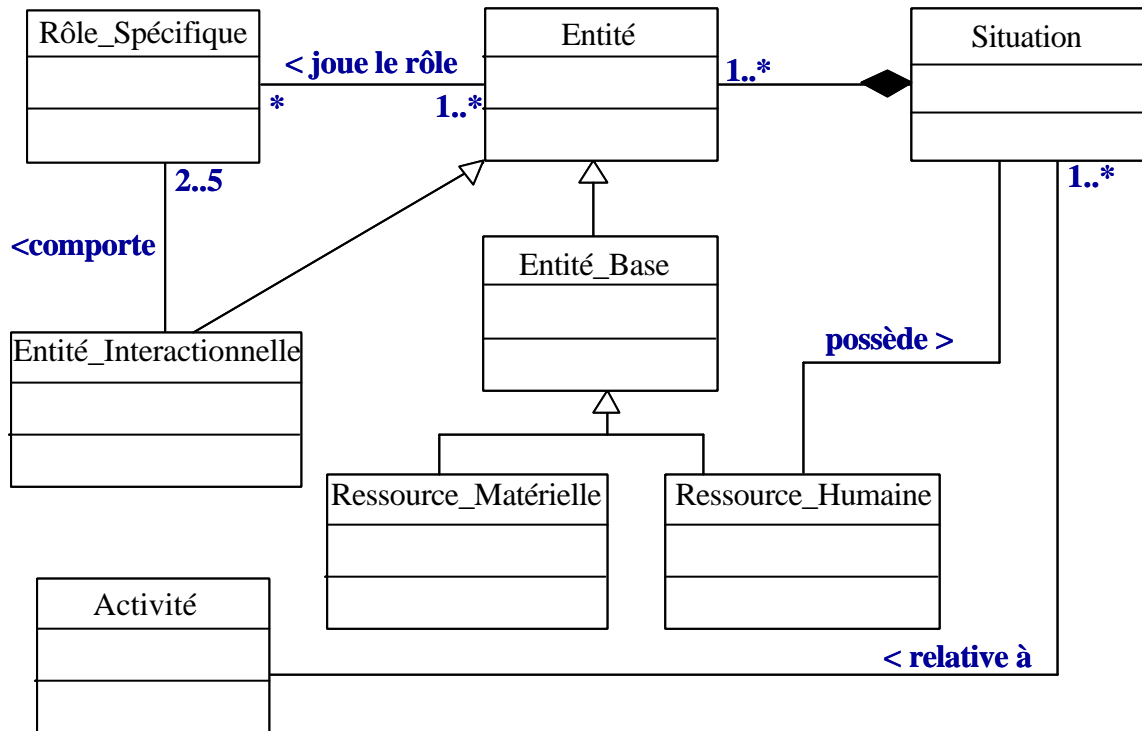


Figure. IV-36. Modèle générique de la situation

La classe "Rôle_Spécifique" est une classe générique représentant grâce à des relations d'héritage, les cinq types de rôles définis précédemment à savoir : "Acteur", "Manager", "Client", "Support" et "Objet". Une entité interactionnelle met toujours en œuvre au moins deux entités jouant des rôles spécifiques distincts.

III. MODELES DESCRIPTIFS DU CONCEPT ENTITE DE BASE

La classe "entité de base" est par définition une classe générique des différentes composantes physiques de la situation. Sur un premier niveau de spécification, nous retrouvons les classes : ressource humaine, ressource matérielle et produit. La figure (IV-37) montre le diagramme de classe qui regroupe les différentes entités de base.

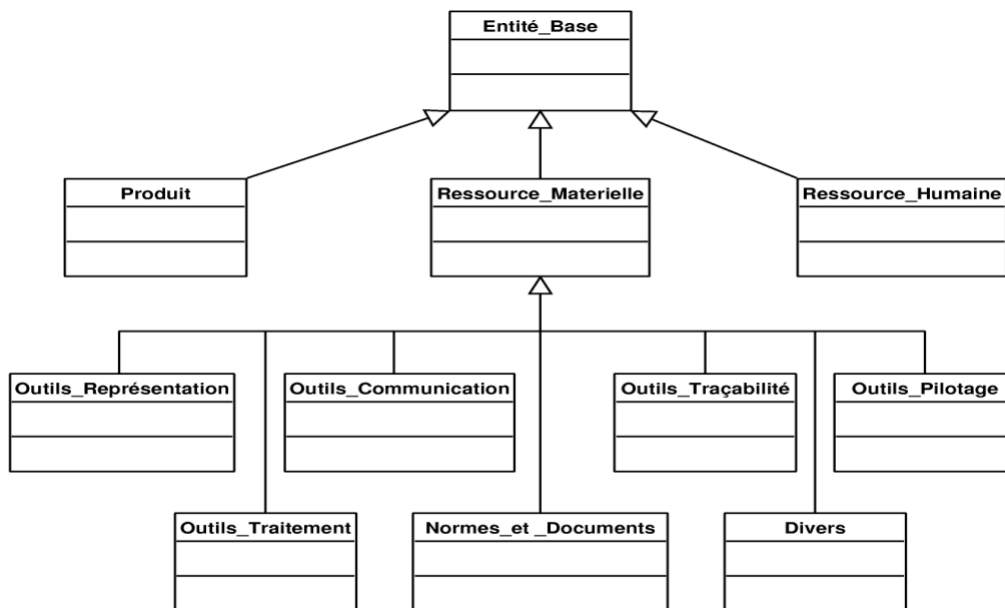


Figure. IV-37. Les entités de base

III.1. La classe "Ressource_Humaine"

Les attributs de la classe "Ressource_Humaine" forment une sorte de Curriculum Vitae où seront stockées des informations sur la personne. Nous avons proposé cinq attributs : âge ; métier ; qualifications ; expérience professionnelle et commentaires.

III.2. La classe "Ressource_Matérielle"

Nous avons regroupé sous cette classe une typologie des différentes ressources matérielles propres au domaine de conception :

- Les outils de représentation concernent les outils de dessin, CAO, plans, maquettes, ...
- Les outils de traitement : tels que les logiciels de calcul, de simulation, de mesure, ...
- Les outils de traçabilité : la documentation, les bases de données, les mémoires, ...
- Les outils de pilotage : plannings, logiciels de gestion de projet, tableaux de bord, ...
- Les outils de communication : messagerie électronique, visioconférence, ...
- Normes et documents techniques et administratifs : normes ISO, organigramme, ...
- La classe "Divers" est une classe supplémentaire destinée à renseigner sur des entités particulières dont le type n'a pas été prédéfini dans les modèles.

III.3. La classe "Produit"

Le produit est l'objet principal du projet de conception. Nous avons discuté au chapitre I des différents modèles de produit. Dans notre modèle [Belkadi & al. 2005b], (figure IV-38), le produit est réalisé par une ou plusieurs solutions techniques. La classe correspondante possède comme attributs : Description, Principe_Technologique, Avantages et Inconvénients. La classe produit est toujours associée à une classe "Modèle_Produit". Cette dernière est une composition de quatre sous modèles complémentaires :

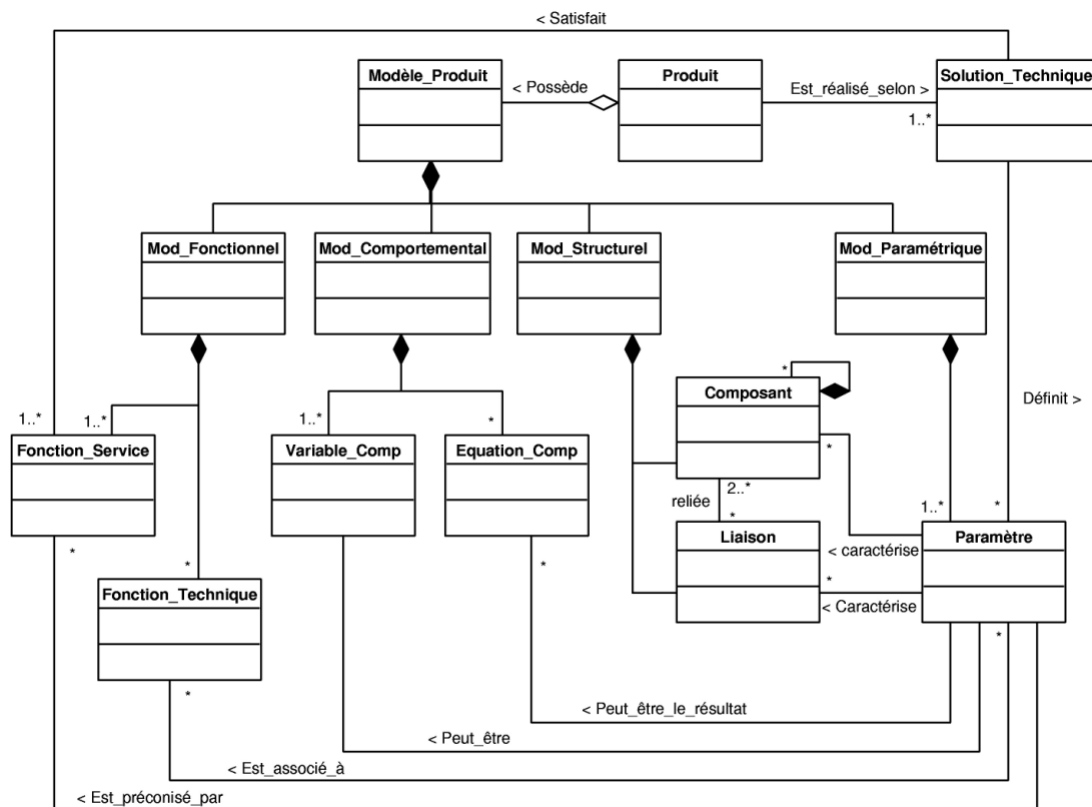


Figure. IV-38. Le modèle de produit

- **Le modèle fonctionnel** regroupe plusieurs fonctions. Ces fonctions peuvent être des fonctions de service ou des fonctions techniques. Paramétrique
- **Le modèle comportemental** (ou modèle multi-paramètres en mécanique) est composé de plusieurs équations de différents types (logiques, physiques, chimiques, etc. ...) décrivant le comportement et les propriétés du produit. Une équation comporte au moins deux variables de comportement et éventuellement des constantes.
- **Le modèle structurel** représente globalement un ensemble de composants et de liaisons qui traduit la solution technique. Ce modèle peut être représenté dans un premier temps sous forme d'esquisses (plans d'intentions) puis détaillé en précisant les types de

composants et de liaisons du produit. Le type de la liaison (pivot, vis-écrou, etc. ...) est renseigné en attribut.

- **Le modèle paramétrique** consiste à faire le dimensionnement du produit et la définition des valeurs de toutes ses caractéristiques à travers la classe "paramètre". Les paramètres sont le cœur des modèles, ils peuvent être de nature logique, physique, ...

Pour illustrer l'utilisation de ce modèle, nous allons présenter un diagramme objet relatif à la modélisation du meuble TV, objet du projet industriel des étudiants. Pour des raisons de simplicité de lecture, nous nous limitons à la description du modèle fonctionnel et du modèle structurel. Le modèle paramétrique comporte autant de paramètres que le nombre de dimensions des composants (longueur, largeur, ...). Pour les mêmes raisons, nous nous sommes limités à montrer les principales liaisons présentes dans le modèle.

La figure (IV-39) représente la version initiale du produit proposé par les étudiants. Elle est composée d'un caisson (composé de 9 panneaux formant sa structure et deux pieds), un plateau TV (composé d'un plateau supérieur, deux panneaux et 4 pieds) et un tube pour assurer la fonction de rotation. (Un plan du meuble est rajouté en annexe VI).

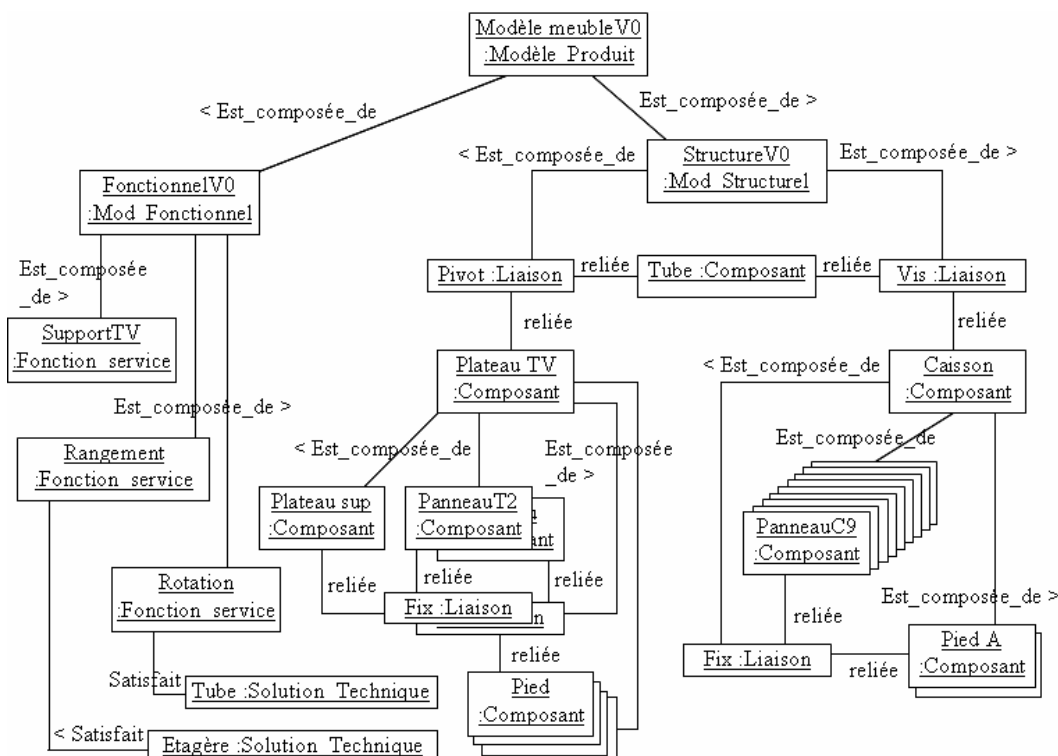


Figure. IV-39. Instanciation du modèle produit (modèle meuble version 0)

Afin d'introduire une nouvelle fonction "protection", une vitre a été ajoutée. Pour respecter les contraintes de flexion en rotation, de résistance et de stabilité, la solution tube, qui coûtait chère, a été remplacée par un plateau tournant et des roulettes ont remplacé les pieds. La version finale du meuble est représentée par le modèle objet suivant (figure IV-40).

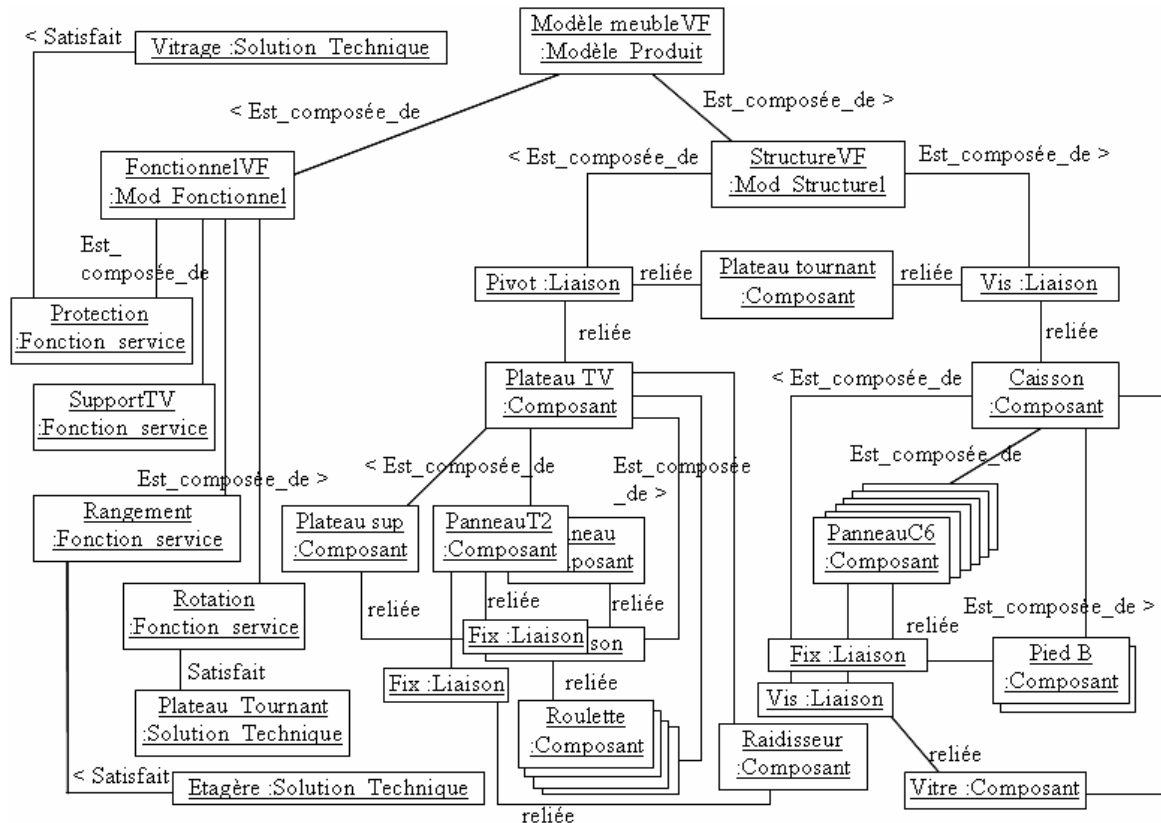


Figure. IV-40. Instanciation du modèle produit (modèle meuble Version Finale)

IV. MODELES DESCRIPTIFS DU CONCEPT D'"ENTITE INTERACTIONNELLE"

La classe "Entité_Interactionnelle" est par définition une classe générique des différentes composantes abstraites de la situation. Rappelons que notre proposition comporte quatre types d'entités interactionnelles : communautaires, opérationnelles, transactionnelles et contraintes. Les classes associées sont représentées comme pour le cas des entités de base par des relations d'héritage.

IV.1. Les entités interactionnelles communautaires

La notion d'appartenance à une communauté concerne d'une façon générale toutes les entités qui possèdent des caractéristiques communes ou qui participent à une finalité commune. Nous nous intéressons plus particulièrement aux communautés de ressources humaines qui se traduisent par un partage de certaines valeurs et une culture propre à cette communauté. Les éléments appartenant à cette communauté doivent veiller au respect des règles pour garantir la cohérence du collectif.

Plusieurs architectures structurelles ont été proposées pour la modélisation des entreprises (et des organisations) [Vernadat, 1996]. C'est sur la base de ces formes d'architecture que nous avons défini une typologie des différentes formes d'entités interactionnelles communautaires pouvant exister dans une situation de conception.

La figure (IV-41) représente le modèle des entités interactionnelles communautaires. Chaque entité interactionnelle communautaire est définie par un ensemble de règles de fonctionnement. Ces règles sont regroupées dans une classe ayant pour attribut : Description. Les différentes formes définies ci-dessous n'existent pas forcément en même temps dans une situation.

- **Le Département** est une représentation de la structure fonctionnelle d'une organisation. Cette structure traditionnelle est basée sur un découpage du travail des grandes fonctions de l'organisation (R&D, fabrication, administration, ...) [Weill, 1994] où chaque fonction est décrite explicitement par les missions qui lui sont assignées. Un département comporte un ensemble de "fonctions élémentaires" assignées à des individus du département.
- **L'Equipe Projet** représente une forme de communauté qui regroupe des ressources humaines (de différents champs disciplinaires). Une équipe projet est constituée pour des raisons spécifiques liées à la réalisation d'un projet et est dissoute à la fin. Certaines règles de fonctionnement sont valables pour tout projet. D'autres sont propres à une équipe et/ou se construisent au fur et à mesure du déroulement du projet.
- **La filière métier** intègre un ensemble de métiers présents dans une organisation et formant son cœur de métier [Boucher, 1999]. Le métier est rattaché à une profession spécifique dont les acteurs forment un corps social caractérisé par une culture technique partagée. [Raveyre 1990] renvoie le métier à la notion d'identité collective qui permet de se positionner dans une organisation et d'avoir une appartenance à un groupe. Ceci implique la présence d'un ensemble de règles et de savoirs de base nécessaires à l'obtention d'une reconnaissance dans le métier. Dans le modèle, nous considérons la classe "Filière_Métier" comme une forme d'entité interactionnelle communautaire reliée à n classes "Métier" par une relation d'agrégation.
- **La classe "Tiers"** est une classe supplémentaire pour représenter d'autres formes de communautés spécifiques non prises en compte dans le modèle tel qu'un marché économique, une communauté de pratiques, des partenaires extérieurs, des concurrents, des clients, des fournisseurs, ...
- **L'entreprise** est l'espace d'interactions des précédentes structures organisationnelles.

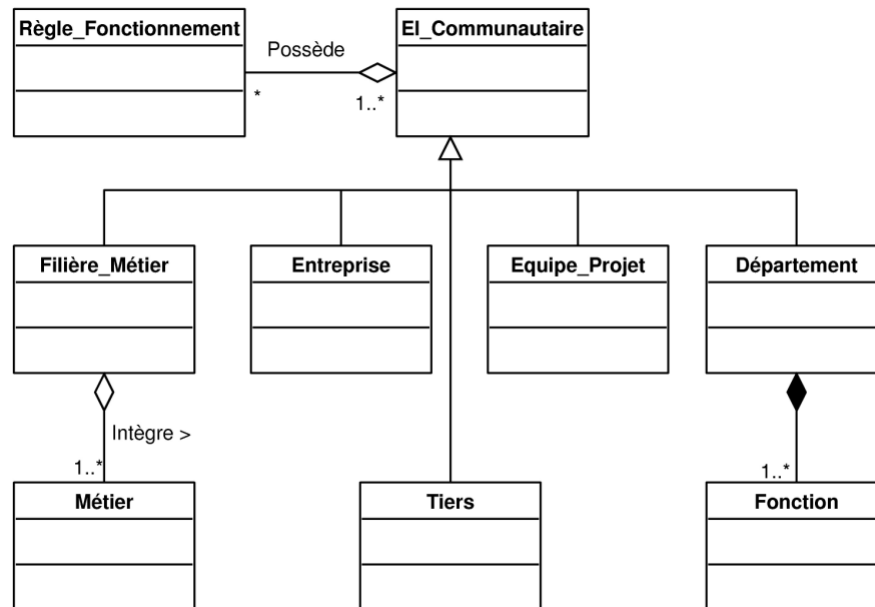


Figure. IV-41. Les entités interactionnelles communautaires

Pour illustrer l'exemple des entités communautaires, nous présenterons ci-dessous (figure IV-42) la constitution de l'équipe projet pour un projet de conception d'un meuble de TV. Cette équipe, que nous avons appelée "EQ_MeublTV1", comporte six principaux éléments qui ont participé activement à toutes les étapes du projet. Les autres participants (que nous avons nommé X.X.) sont des ressources support qui ont contribué par une aide aux "acteurs" de l'équipe projet (dans le modèle ce sont les objets Ressource_Humaine A.G. et J.L.). Chaque membre de l'équipe projet joue un rôle spécifique au sein de cette équipe et en même temps, un autre rôle dans un département de l'entreprise. Ainsi, les deux acteurs (A.G. ; J.L.) ont été affectés respectivement aux départements création et conception technique. Cependant, et conformément aux objectifs pédagogiques, les deux étudiants ont contribué aux différentes missions support (marketing, méthodes et prototypage) et assisté à la réalisation des autres missions.

Les responsables "manager" de ces deux départements (D.B. et J.S. respectivement) sont les "manager" de l'équipe ayant pour mission de réguler l'activité des concepteurs sur les deux axes. E.B. est une troisième ressource "manager" provenant d'une entité communautaire tiers externe à l'entreprise. La mission de ce dernier est de fournir les orientations pédagogiques du projet. Enfin, la directrice artistique (D.A.), "manager" du département "innovation artistique", joue le rôle spécifique "support" dans l'équipe projet en fournissant tout au long du processus de création les orientations artistiques conformément aux tendances et l'image de l'entreprise. C'est le cas aussi pour le chef de marché, sollicité pour aider les stagiaires dans le processus d'étude marketing. Les "acteurs" des autres départements (ressources X.X.) jouent un rôle support dans l'équipe projet. Ils ont été sollicités pour réaliser certaines actions complémentaires ou donner des conseils ponctuels. Chaque département est décrit par sa

contribution (ou fonction). Nous retenons par exemple, pour le département de conception technique, les fonctions : mise en plan, optimisation de la matière et définition de la nomenclature et de la notice finale du produit.

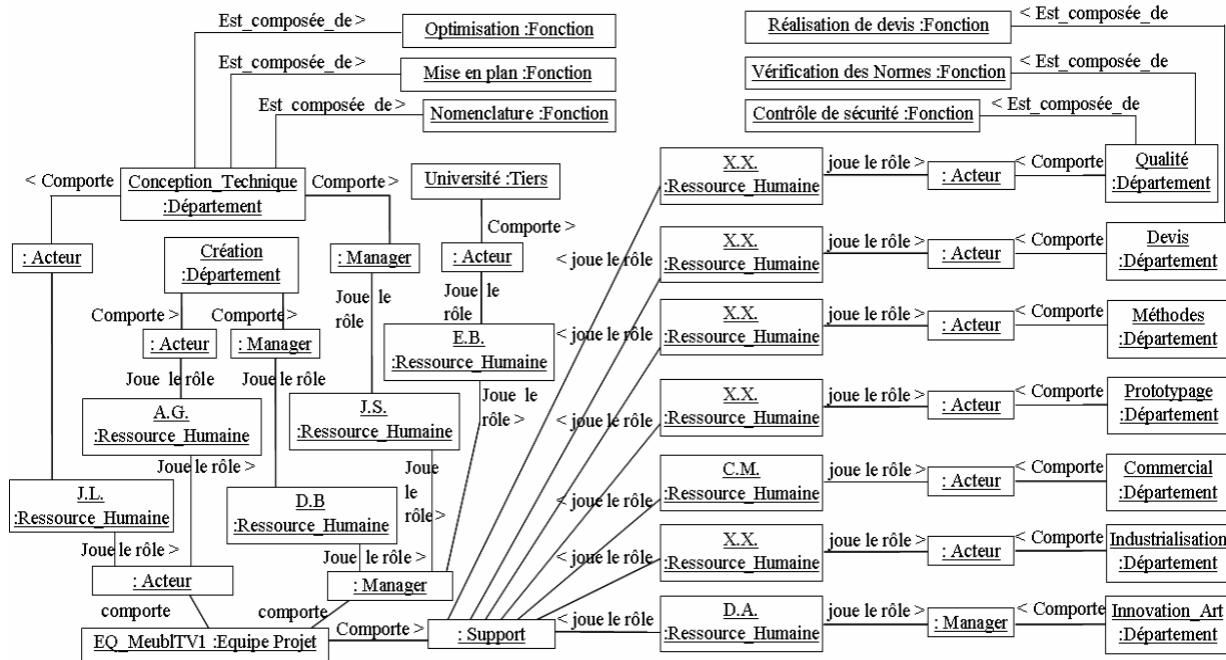


Figure. IV-42. Exemple d'entités interactionnelles communautaires (équipe projet)

IV.2. Les entités interactionnelles transactionnelles

La communication, la coopération et la négociation sont des formes d'interactions entre ressources humaines dans une organisation. Nous appelons ce type d'interactions, "E.I. transactionnelles" car dans ce genre de relation, chaque acteur cognitif impliqué s'associe pour tenter de satisfaire ses objectifs individuels, éventuellement en tenant compte des objectifs de l'autre. Il y a donc dans ces interactions une forme de transaction où chacun contribue pour un but qui peut être la résolution d'un problème commun.

De la même manière que pour les entités communautaires, nous proposons une typologie d'entités interactionnelles transactionnelles comportant trois types : la communication, la coopération et la coordination [Belkadi & al. 2004b] (figure IV-43).

- **La communication** est la forme la plus simple d'échange entre individus, sans obligation de partage d'objectifs entre les communicants. La communication est le processus de transmission de messages qui nécessite un émetteur, un ou des récepteurs, un message et un moyen (ou support) de communication [Tarpin-Bernard, 1997]. Les objectifs de la communication sont soit purement techniques (ex. demande

de l'avis d'un expert externe au projet, ...) soit liés aux phénomènes sociologiques et aux exigences de la vie en groupe (cette dernière forme nous intéresse peu).

- **La coopération** est une interaction dont le but final est bien identifié, à savoir participer à une œuvre commune. "Coopérer, c'est agir vers un but commun" [De Terssac, 1996]. Cependant les différents objectifs individuels ne sont pas forcément en dépendance totale. Chaque acteur peut être concerné par les résultats d'un autre acteur sans avoir à réaliser la même tâche élémentaire. Deux formes coopératives peuvent être observées dans une situation de conception :
 - **Coopération par échange** d'informations et/ou partage de ressources, où chaque participant informe les autres coopérants de toute évolution dans son activité dont le résultat va modifier la situation des autres. Il peut s'agir de réunions coopératives (exemple : groupe ad-hoc pour résoudre un problème particulier, ...)
 - **Coopération par négociation**, afin de réaliser les compromis nécessaires dans le cas de conflits entre certains résultats d'activités dépendantes. La négociation est une forme complexe de coopération. Les échanges sont de type propositions, contre proposition, argumentation, acceptation et validation ou refus.
- **La coordination** est un processus d'élaboration de règles et de conventions entre acteurs [Bitard 2001]. C'est une action régulatrice des activités simultanées des acteurs. Une coordination n'a pas de raison d'être sans l'existence d'activités dépendantes impliquant une action coopérative. La régulation peut se faire sur la base d'un ordonnancement temporel des actions, de synchronisation entre les actions et les ressources et objets communs à ces actions ...

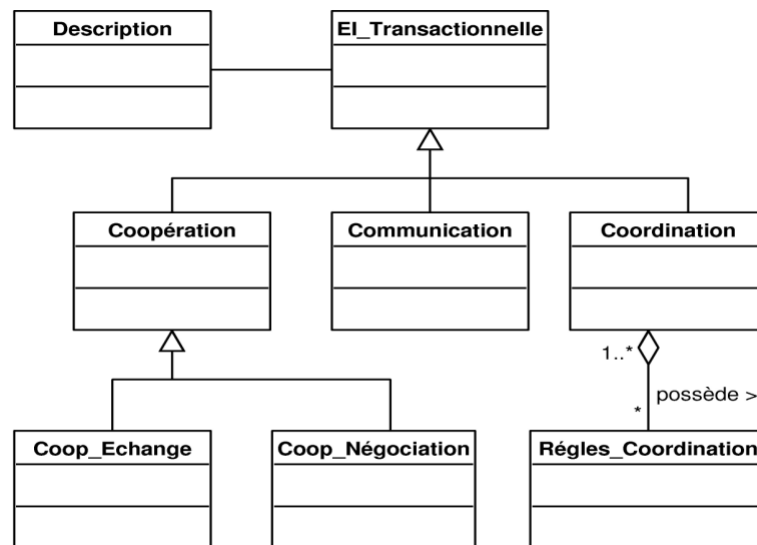


Figure. IV-43. Les entités interactionnelles transactionnelles

IV.3. Les entités interactionnelles "contrainte"

[Micaëlli & al., 2003] font l'hypothèse qu'un concepteur réunit au cours de son activité, différentes contraintes dans des classes sémantiques afin de structurer le problème à résoudre. L'activité de conception revient dans ce cas à une résolution d'un ensemble de problèmes associée à la satisfaction d'un ensemble de contraintes. Une contrainte formule une limitation sur la réalisation d'une activité ou une interaction donnée. Nous avons proposé de définir les contraintes comme une forme d'entité interactionnelle faisant intervenir au moins une source qui a généré ou formulé cette contrainte (rôle client) et au moins une entité sur laquelle la contrainte applique les limitations (rôle objet). Nous proposons la classification du concept "contrainte" à travers deux attributs : la nature de ce qui est contraint et la flexibilité.

- **La typologie selon la nature de ce qui est contraint** (objet) comporte deux valeurs :
 - *Contraintes sur les résultats.* Elles impliquent des limitations sur les choix de solutions possibles pour un problème donné ainsi que sur leurs caractérisations. Par exemple, on peut recenser les contraintes de coût, de qualité, de compatibilité entre solutions, de ré-utilisation de solutions existantes, ...
 - *Contraintes sur la réalisation.* Elles impliquent des limitations sur la manière d'obtenir la solution (organisation des actions, comportements, ...). Par exemple, on peut citer des contraintes d'utilisation (ou non) de ressources, de planning, de respect de règles de fonctionnement, de justification des choix, ...
- **Typologie selon la flexibilité.** Chaque contrainte peut être qualifiée selon son importance par rapport aux objectifs du projet. On distingue trois formes de contraintes selon ce critère (3 valeurs permises pour l'attribut) :
 - *Contraintes de validation.* Elles doivent être impérativement respectées pour considérer une solution comme valide. Ces contraintes définissent les limites de l'espace des solutions admissibles.
 - *Contraintes négociables.* Elles peuvent être redéfinies ou modifiées par un processus de négociation avec les autres partenaires pour arriver à des compromis.
 - *Contraintes de préférence.* Elles traduisent des exigences optionnelles que le concepteur essaie de satisfaire au mieux. La considération de ces contraintes permet de mieux apprécier les solutions qui n'ont pas été rejetées.

La flexibilité d'une contrainte peut changer en cours de projet. Ainsi, une contrainte négociable au début du projet deviendra une contrainte de validation. La classe d'association "Dépendance" est une classe supplémentaire (optionnelle à l'utilisation) offrant la possibilité de renseigner sur les éventuelles relations conflictuelles ou complémentaires entre deux contraintes ou plus (figure IV-44).

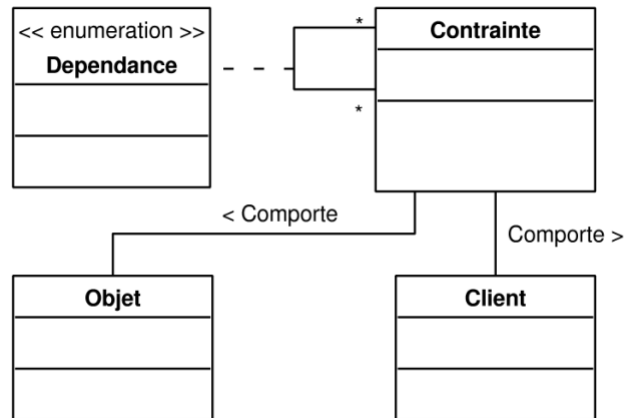


Figure. IV-44. Les E.I. contraintes

IV.4. Les entités interactionnelles opérationnelles

La classe "EI_Opérationnelle" (figure IV-45) est une classe générique regroupant, par le biais de relations d'héritage, les différentes formes d'interactions traduisant des transformations sur les états d'un (ou plusieurs) objet(s). Les prescriptions, sous forme de processus et tâche, traduisant les objectifs et leur décomposition. Parallèlement, sont décrites les réalisations effectives, sous forme de projet et d'activité, traduisant les modalités d'action permettant de répondre à ces prescriptions. Nous avons ainsi identifié quatre formes d'entités interactionnelles opérationnelles en cohérence avec la distinction prescription/réalisation : la tâche, le processus, l'activité et le projet [Belkadi & al., 2005c].

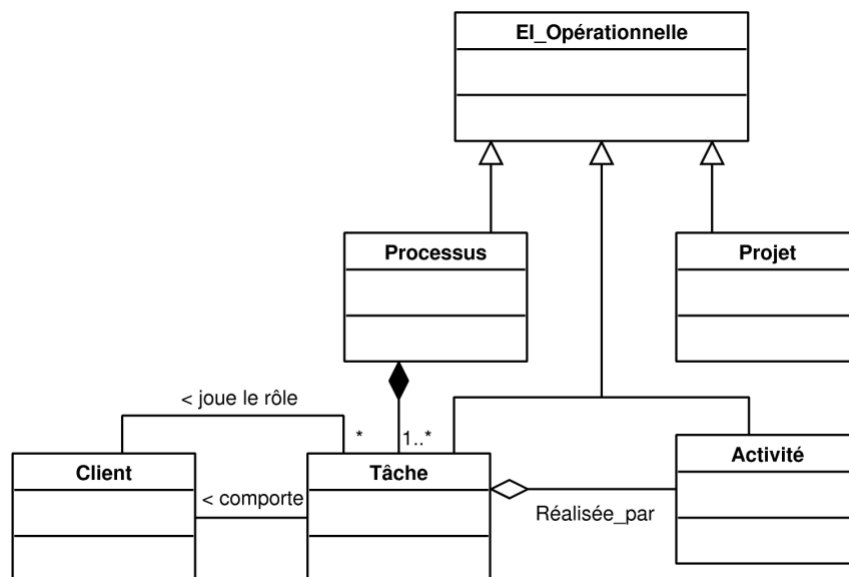


Figure. IV-45. Les entités interactionnelles opérationnelles

La double association entre la classe "tâche" et la classe "client" permet une organisation des différentes tâches selon leur ordre d'exécution dans un processus donné. L'expression : "la tâche Tb joue le rôle de "client" de la tâche Ta" signifie que la réalisation de Tb nécessite les résultats de l'activité associée à la tâche Ta. En d'autres termes, la réalisation de la tâche Tb vient **après** celle de la tâche Ta dans le processus correspondant.

IV.4.1. La classe "projet" du point de vue des "objectifs"

Un projet de conception est élaboré pour répondre à certain nombre d'objectifs concrétisés par un produit final. Il représente l'espace de réalisation des différentes entités interactionnelles opérationnelles et transactionnelles.

Un projet peut être d'abord considéré du point de vue de ses objectifs. En effet, il met en interaction différents types de processus jouant chacun un rôle spécifique. Ainsi, la classe "objectif" est la classe qui articule les classes : "tâche", "projet" et "processus". La structuration du projet à travers ses processus et ses tâches est obtenue à partir de l'analyse de la décomposition arborescente de ses objectifs. Le concept de rôle spécifique peut être employé pour représenter l'organisation du projet en fonction des types de processus.

Pour montrer l'intérêt de cette modélisation, considérons son application aux normes de l'Ingénierie Système. Trois familles majeures de processus sont identifiées en fonction de leurs contributions aux objectifs du projet :

- Les processus techniques. Ils représentent le cœur du projet et regroupent les différentes tâches d'ingénierie, de réalisation et de mise en œuvre du produit. Ils comportent aussi des processus support d'ingénierie (méthodes, calcul, ...).
- Les processus de management. Ils regroupent les tâches de pilotage, d'ordonnancement, d'organisation des ressources, de gestion des conflits, ...
- Les processus facilitant. Ils concernent les processus indirects, par exemple, la gestion des éléments du projet, les processus contractuels.

Dans notre modèle (figure IV-46), la distinction entre ces trois types de processus est rendue possible par l'utilisation des rôles spécifiques. Ainsi, nous associons la classe du rôle spécifique "Acteur" à tous les processus techniques d'ingénierie et de mise en œuvre. La classe du rôle "Manager" est associée aux processus de management et enfin, la classe du rôle "support" est associée aux processus facilitant ainsi que les processus support d'ingénierie.

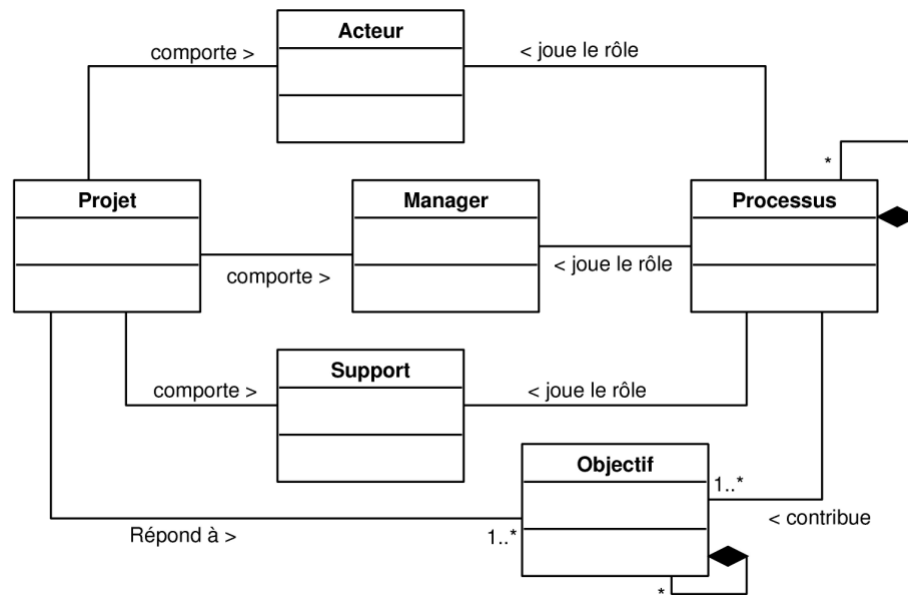


Figure. IV-46. La structuration des objectifs (Projet-Processus)

Dans notre exemple (figure IV-47), nous utilisons la terminologie adoptée par l'entreprise pour désigner les processus. Le projet de réalisation d'un meuble TV, objet de notre exemple, comporte deux objectifs techniques et un objectif pédagogique. Les objectifs techniques sont de proposer, à partir d'une étude de l'existant, de nouveaux concepts pour un meuble TV et de transformer les concepts retenus en un prototype de meuble. L'objectif pédagogique concerne l'intégration des étudiants en milieu industriel pour leur permettre d'acquérir de nouvelles connaissances et compétences techniques et relationnelles. La structuration du projet de conception selon ses objectifs est représentée par le diagramme d'objet suivant. Trois processus représentant le cœur du projet jouent le rôle "acteur".

- étude marketing,
- conception de principe,
- conception technique.

Trois autres processus sont des processus "support" par rapport aux objectifs du projet : logistique, industrialisation et prototypage.

La décomposition hiérarchique des objectifs est obtenue par la relation "Est composée de". Elle permet de descendre au niveau des sous-processus (ou tâches). L'utilisation du rôle "client" permet de représenter différents agencements des tâches dans un processus : séquence, parallélisme et itération.

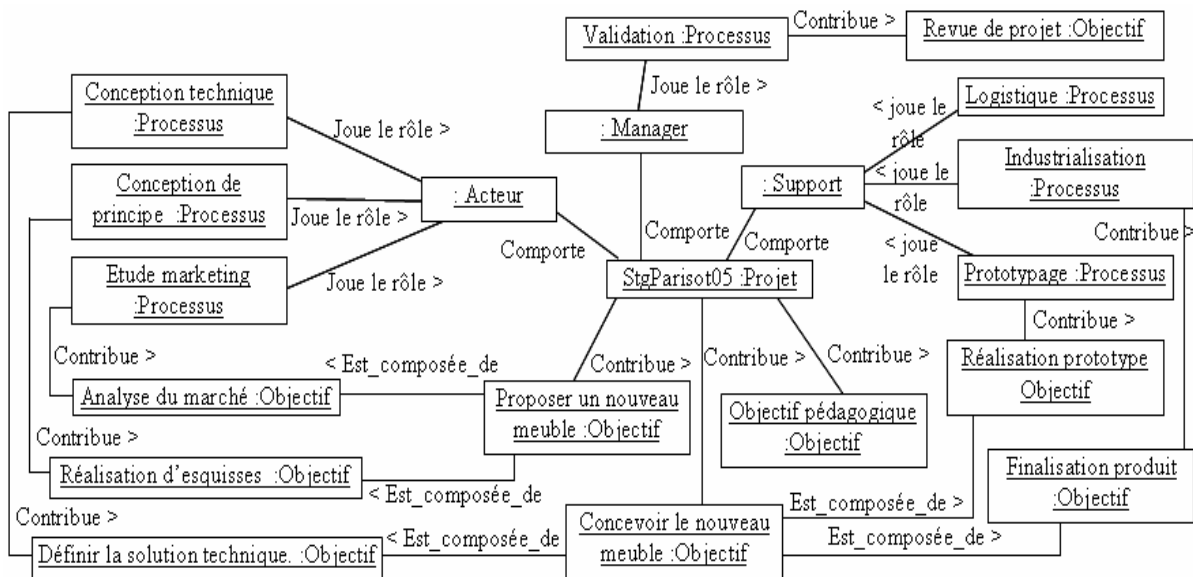


Figure. IV-47. Exemple 1 de structuration des objectifs (Projet-Processus)

Nous allons donner par la suite la description des trois processus.

- Le processus "étude marketing" qui a pour objectif d'"identifier les orientations du projet" comporte trois sous-processus, jouant des rôles différents :
 - Le processus "étude des tendances" dont l'objectif est de "trouver le cœur de gamme cible" dans lequel sera positionné le produit contribue directement à l'étude marketing : il joue le rôle d'acteur
 - Le processus "analyse de l'existant" contribue à l'objectif d'"identifier la segmentation du marché" joue le rôle support. Les résultats de ce processus forment une entrée du processus "étude des tendances" qui joue le rôle de client pour le processus "analyse de l'existant".
 - Le processus "validation" joue le rôle de manager. Il s'agit du processus transversal comportant les tâches de revue de projet.

Le processus "analyse de l'existant" est à son tour composé de deux tâches contribuant chacune à deux objectifs complémentaires (figure IV-48).

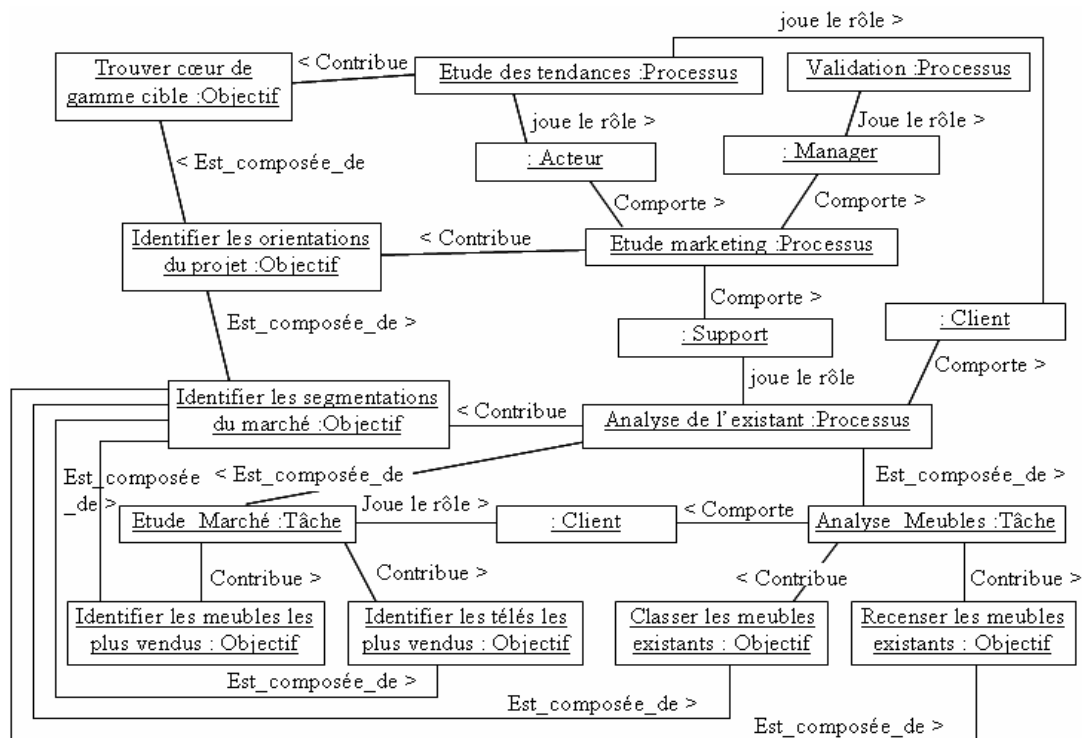


Figure. IV-48. Exemple 2 de structuration des objectifs (Processus d'étude marketing)

- Le deuxième processus dans le projet concerne la conception de principe du produit. Il s'agit de la réalisation des esquisses à partir des orientations artistiques et fonctionnelles retenues pour le produit à concevoir. Dans ce processus, les étudiants se sont inspirés de l'existant pour imaginer plusieurs concepts novateurs supportés par des planches d'intentions (esquisses). A la fin, deux propositions ont été retenues mais une seule a fait l'objet du processus suivant de conception technique. Pour limiter la présentation de l'exemple, nous n'avons pas introduit la modélisation de ce processus.
- Le processus de conception technique regroupe les deux étapes classiques de conception d'ensemble et de conception de détail. Il a pour objectif de "définir la solution technique" en réalisant un dossier du produit (plans ...) avec suffisamment de détails pour réaliser le prototype. Ce processus comporte six tâches de conception avec une itération de la tâche "réalisation des plans". Cet exemple montre l'utilisation du rôle "client" pour représenter différentes structurations des tâches dans un processus :
 - Séquencement : par exemple, la tâche "intégrer les normes" précède la tâche "réaliser les plans".
 - Parallélisme : les tâches "optimiser la matière" et "faire la nomenclature", par exemple, sont deux tâches clientes de la tâche "réaliser les plans" mais peuvent se réaliser indépendamment et en parallèle.

- Itération : par exemple la tâche "réaliser les plans" est effectuée une première fois. Ses résultats sont utilisés dans la tâche "optimiser la matière". Par la suite la tâche "réaliser les plans" est itérée pour prendre en compte des résultats de l'optimisation.

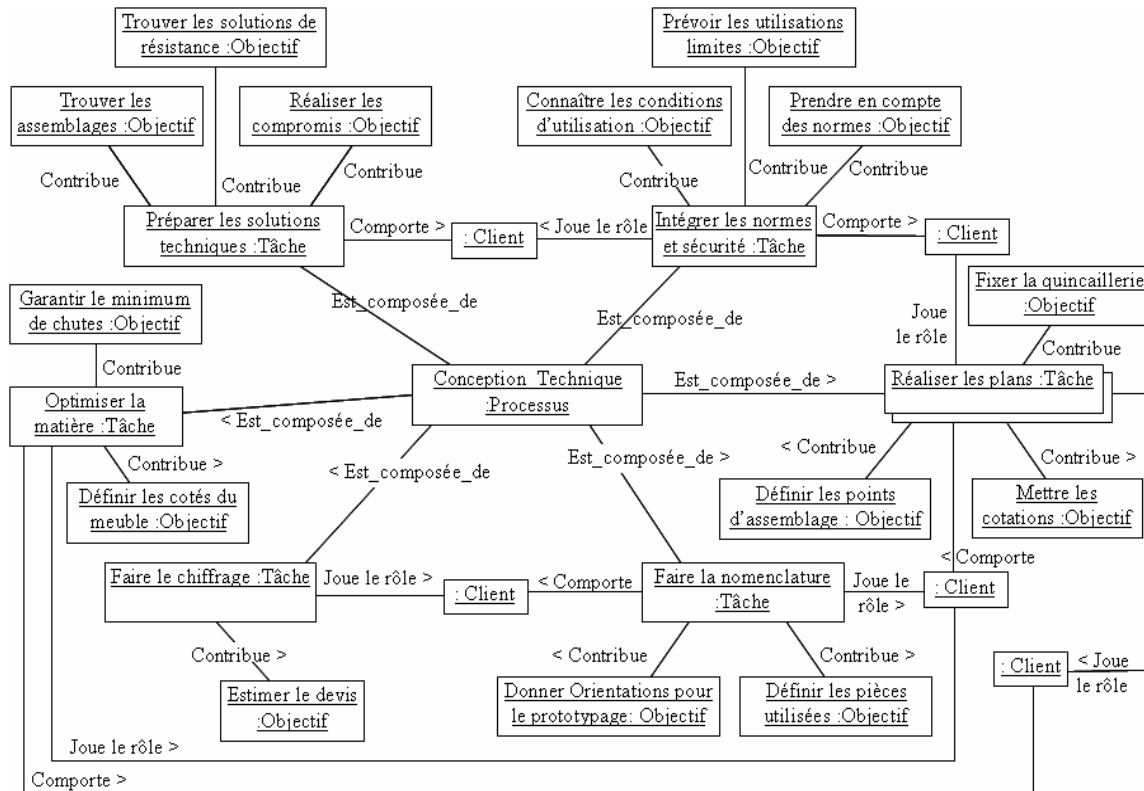


Figure. IV-49. Exemple 3 de structuration des objectifs (Processus de conception technique)

IV.4.2. La classe "tâche" et la vue "mission"

Dans notre proposition, le concept de "mission" est considéré comme un concept abstrait. Il est représenté par une vue représentant la classe "tâche" et son cadre d'action initial. Ce dernier est représenté à travers le triplet de rôles spécifiques (manager, client et objet) ainsi que la classe "Cadre_Général" qui est une classe supplémentaire pour ajouter d'éventuelles informations complémentaires (figure IV-50). On retient ici que la classe EI opérationnelle "tâche" n'est pas associée à la classe "acteur" ce qui reste cohérent avec notre distinction tâche / activité (cf. chapitre III).

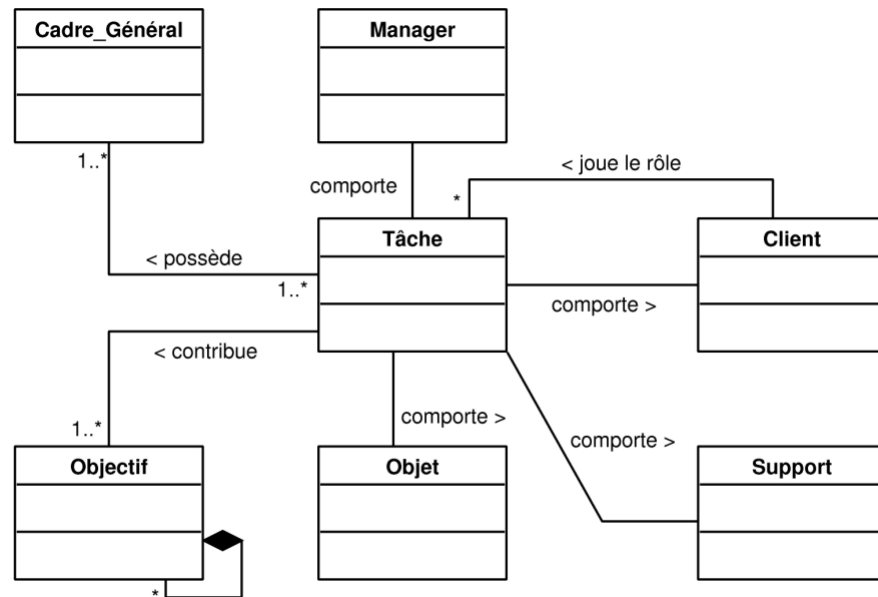


Figure. IV-50. La "tâche" et la vue "mission"

Par exemple, la tâche "analyse_meubles" du processus "analyse de l'existant" (figure IV.51) sera représentée dans la vue mission correspondante comme une entité interactionnelle ayant deux objectifs : d'abord, "recenser les meubles existants" sur le marché puis "classer les meubles existants" selon leurs fonctions, styles, prix et matériaux. Cette tâche comporte une contrainte qui concerne la nécessité de consulter des "sources d'informations diverses" (magasins, catalogues, internet, ...).

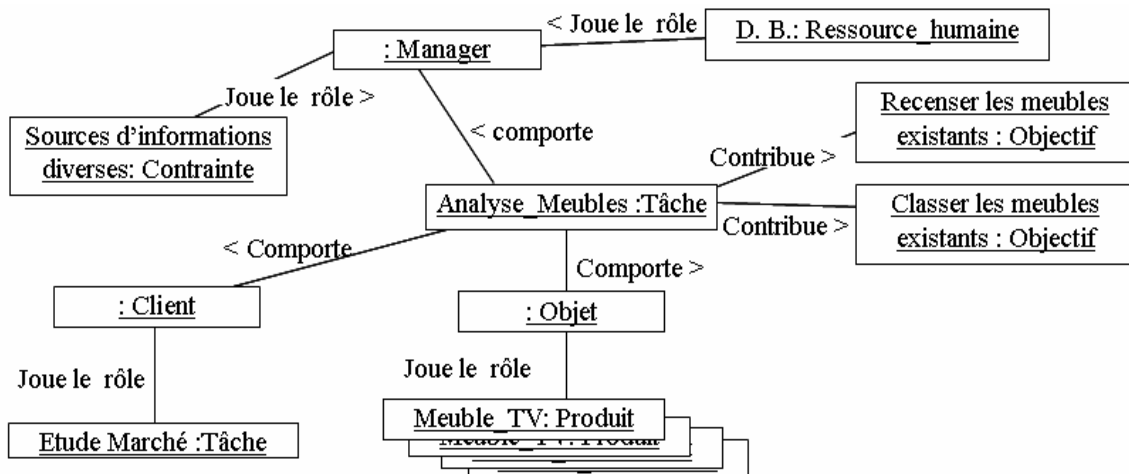


Figure. IV-51. Exemple de mission : la tâche "analyse produit"

De la même manière, la tâche "réaliser les plans" du processus de conception technique, est représentée dans la vue mission comme une entité interactionnelle contribuant à trois objectifs:

- Fixer, à partir de ce qui existe dans le magasin de l'entreprise, la quincaillerie qui répond aux spécifications de la solution technique retenue dans la tâche précédente,

- Définir les points d'assemblage entre les différents composants selon la forme du produit retenue dans l'étape de réalisation des esquisses,
- Mettre les cotations du meuble en fonction des dimensions des composants.

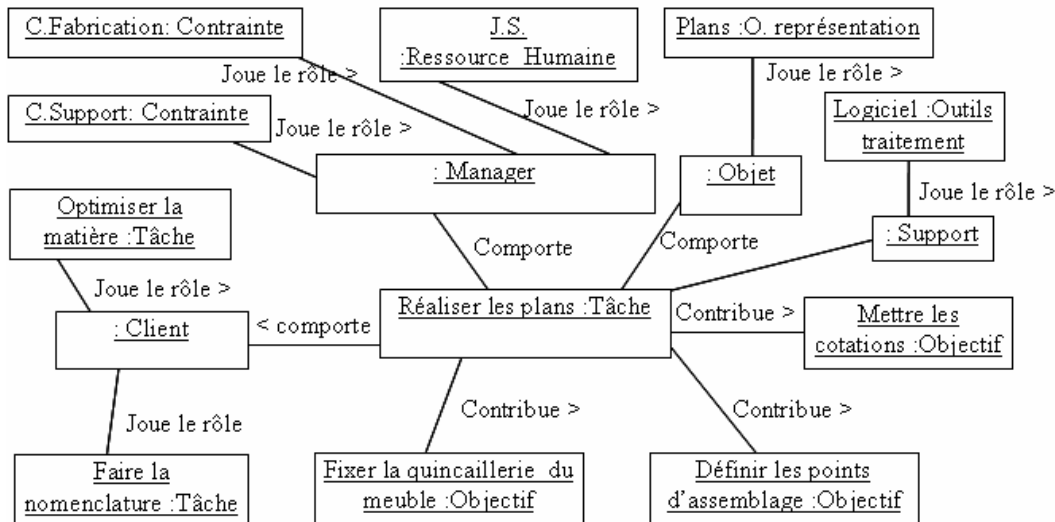


Figure. IV-52. Exemple de mission : la tâche "Réalisation des plans"

Cette tâche a pour manager le chef du département conception ainsi que deux EI contraintes :

- Une contrainte sur le support utilisé, à savoir un logiciel d'optimisation de la matière, spécifique à l'entreprise.
- Une contrainte de fabrication qui se propage sur le résultat de la réalisation de la tâche. Cette contrainte consiste à éviter dans le choix de la quincaillerie d'utiliser des pièces de très petites dimensions et des panneaux d'épaisseur inférieure à 28 mm.

IV.4.3. La classe "projet" du point de vue des "entités"

En tant qu'entité interactionnelle, le projet met en relation différentes entités de base jouant chacune un rôle spécifique (figure IV-53). Ainsi, le "produit" est l' "objet" du projet, qui se décompose en blocs-projet, ayant chacun pour objet principal, un produit élémentaire, composant du produit final. L' "équipe_projet" joue le rôle d' "acteur". Une "ressource_humaine" au statut de chef de projet ainsi que des contraintes jouent le rôle de "manager". D'autres entités peuvent jouer les rôles de "support" ou de "client". Notons que la vue projet peut être assimilée à une mission-projet à laquelle est affecté un acteur-projet.

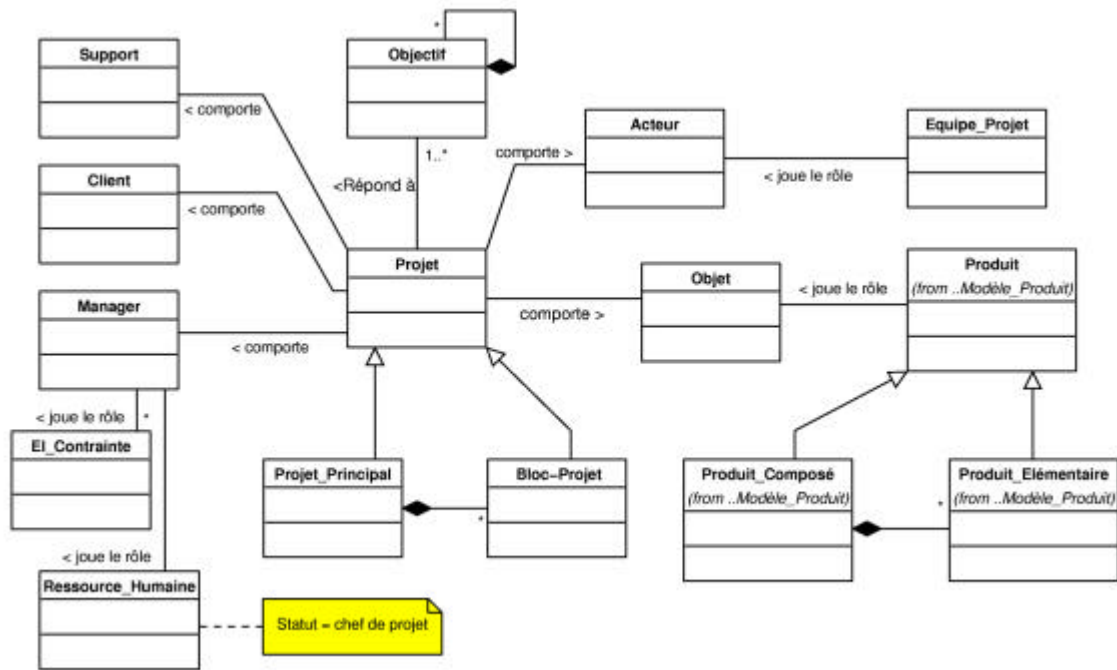


Figure. IV-53. La classe projet du point de vue des entités

Dans notre exemple (figure IV-54), le projet avait comme contraintes la nécessité d'un côté, de respecter la culture créative, technique et sociale de l'entreprise, et de l'autre côté, de concilier les objectifs du projet avec les besoins pédagogiques de la formation. Deux types de clients sont identifiés : il s'agit du département commercial de l'entreprise (chargé de la mise sur le marché du produit) qui doit valider les résultats techniques du projet et de l'Université qui doit valider les résultats pédagogiques.

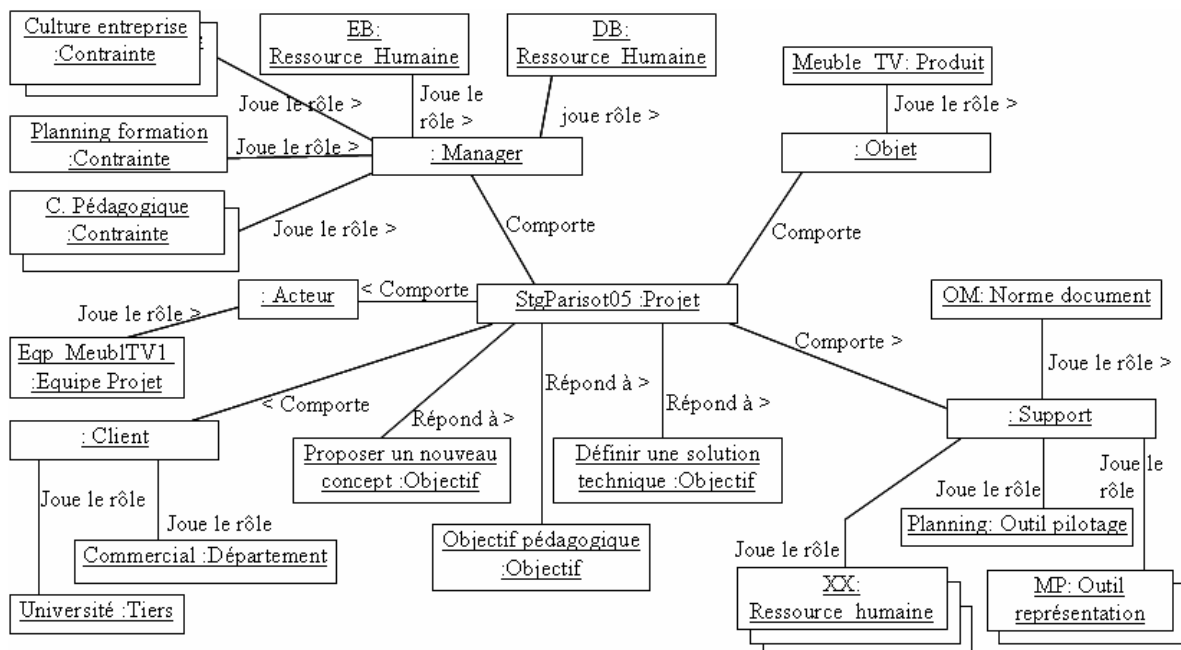


Figure. IV-54. Exemple du diagramme objet "classe projet du point de vue des entités"

IV.4.4. L'activité, réalisation de la tâche

L'entité interactionnelle "activité" est représentable sur deux vues complémentaires : une vue externe qui complète la mission (les prescriptions) quand elle est affectée à un acteur et une vue interne qui décrit la réalisation. Comme l'activité est une entité interactionnelle, nous lui associons des rôles spécifiques. A la différence de la classe "Tâche", la classe "Activité" est associée à un rôle "Acteur" de type "Ressource_Humaine", représentant l'entité chargée de réaliser cette activité.

Dans notre exemple, l'activité correspondante à la tâche "réalisation des plans" peut être représentée comme le montre la figure (IV-55). A la différence de la tâche, l'entité interactionnelle activité est associée via le rôle "acteur" aux entités qui ont réalisé réellement cette activité et les entités "support" de cette dernière. Deux autres contraintes sont aussi ajoutées dans la vue activité comme conséquences directes de la contrainte prescrite (source d'informations diverses).

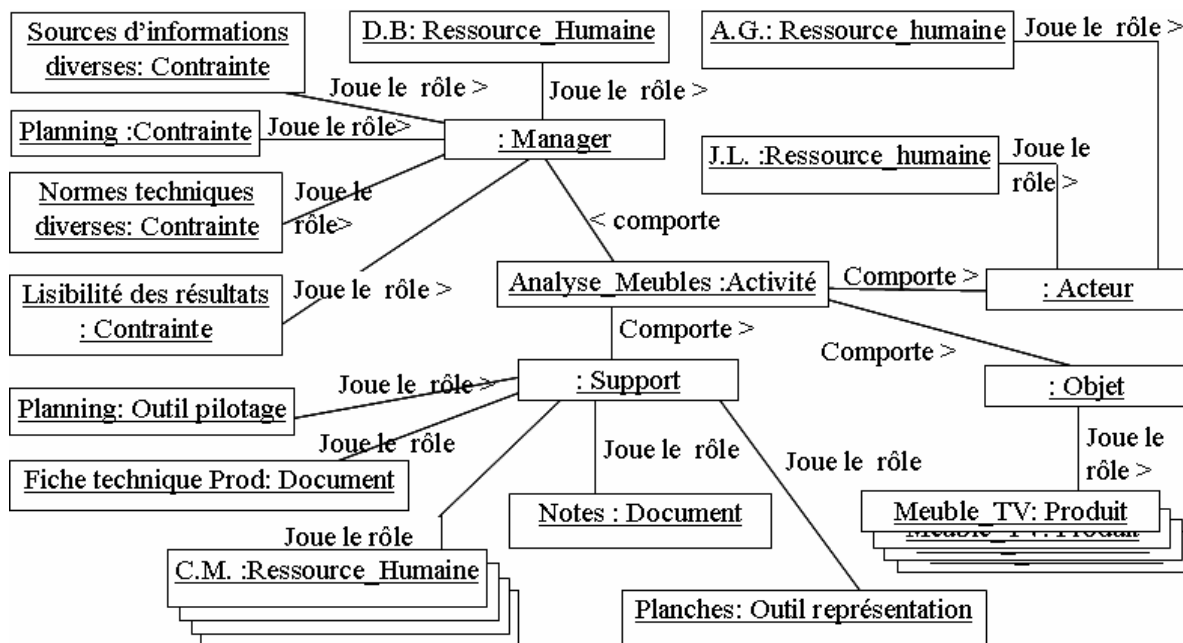


Figure. IV-55. Exemple de l'entité activité "Analyse des meubles"

Dans une vue interne, nous proposons un modèle de l'activité intégrant le "plan d'action" que l'acteur s'est défini pour réaliser son activité (cf. modèle du schème, chapitre II), (figure IV-56). Un plan d'action comporte un ensemble d'actions ordonnées ou semi ordonnées dont le résultat sera soit la création, soit la suppression, soit la modification d'une ou plusieurs entités.

Suite à la prise en charge d'une mission, l'acteur (individuel ou collectif) définit totalement ou partiellement son plan d'action initial (version 0), traduisant ainsi la façon avec laquelle il prévoit de réaliser l'activité. Au cours de l'activité, soit en présence de nouvelles contraintes générées par la même activité ou par les activités des autres acteurs, soit en présence de nouveaux événements, l'acteur procédera à des modifications successives de son plan d'action

pour s'adapter à la situation réelle. L'attribut "résultats" est un attribut propre à la classe "activité" pour permettre à l'acteur de tracer et commenter les résultats de son activité.

Parallèlement au déroulement de l'activité, certaines entités transactionnelles sont sollicitées pour des besoins de coopération, d'entraide, de validation ... Cette propriété est représentée dans le modèle par l'association "nécessite" entre la classe activité et "EI_transactionnelle".

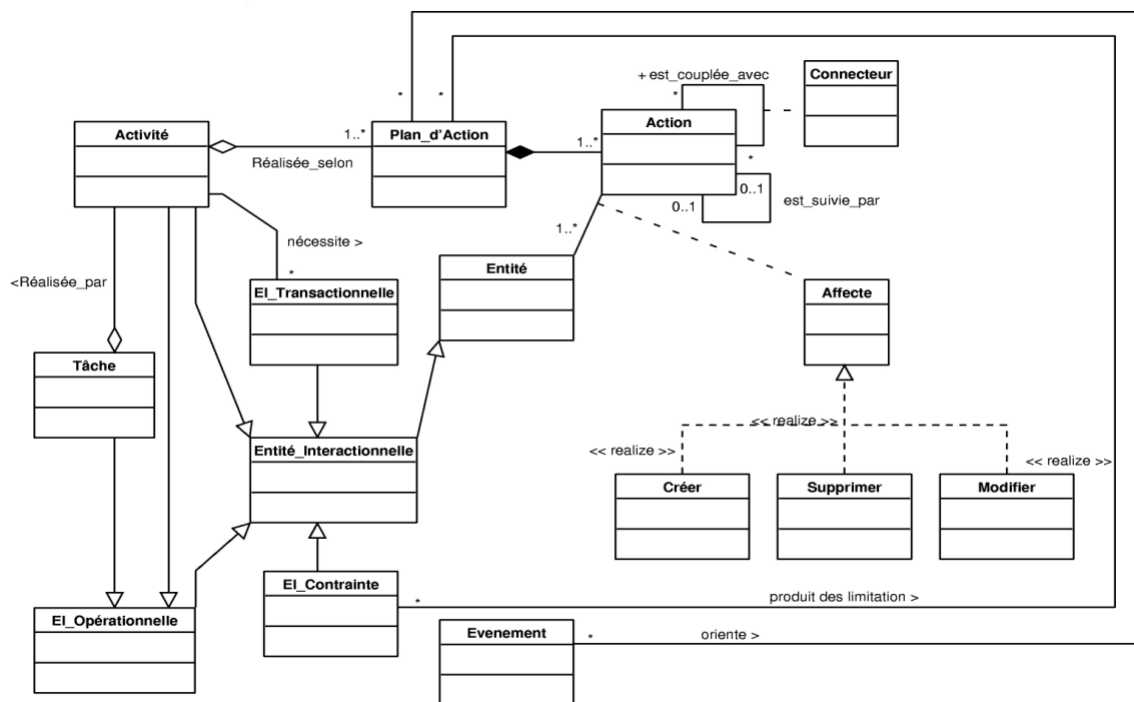


Figure. IV-56. Modèle de réalisation d'une tâche

IV.4.5. Les actions élémentaires

Dans les travaux portant sur les fondements d'une théorie de la conception, plusieurs typologies de "tâches génériques" ont été proposées dans le but de modéliser le déroulement du processus de conception [Brown 1984]. Le concept de "tâche générique" désigne des tâches possédant la même famille de caractéristiques et pouvant être considérées comme réutilisables. [Chandrasekaran & al., 1993] indiquent que la représentation sous forme de tâches génériques offre plusieurs avantages pour la gestion et l'acquisition des connaissances. Ceci est obtenu grâce à un vocabulaire structuré dans des catégories génériques et reliant chaque connaissance à son utilité dans le processus.

Ce type de décomposition présente un intérêt particulier pour les systèmes d'inférences ou de réutilisation tels que les systèmes à base de cas où un cas est identifié par un ensemble de tâches réutilisables dans des problèmes similaires. Un autre avantage souligné par

[Roozenburg &al., 1995] concerne l'aide à l'analyse et à l'identification des "patrons type" de raisonnement propres à chaque famille d'activités.

[Chandrasekaran &al., 1990] proposent une typologie de tâches génériques composée de six tâches : spécifier, composer, proposer, vérifier, critiquer et modifier. [Crabtree 1997] propose une liste de six actions principales dans le domaine de l'aérospatial : recherche d'information, résolution de problème, documentation, planification, négociation et consultation. [Roozenburg &al., 1995] ont proposé un modèle itératif des tâches de conception. Le modèle comporte une typologie de cinq tâches génériques partant de la définition du besoin jusqu'à l'approbation du résultat : Analyse, synthèse, simulation, évaluation et décision.

La même philosophie a été retrouvée dans les domaines des sciences cognitives et dans la théorie des systèmes [Simon 1969]. Dans la théorie des systèmes, le processus général de résolution de problèmes reprend des étapes standards qui se répètent avec des itérations différentes et sur des types d'objets différents. [Pahl &al., 1996] ont recensé plusieurs typologies de tâches génériques dans le cadre d'un processus de résolution de problème, parmi ces tâches génériques, certaines sont souvent reprises avec des appellations différentes : Etude/analyse des systèmes ; Formulation du problème et définition des objectifs ; Synthèse et définition des solutions ; Analyse du système et des solutions ; Evaluation des solutions par rapport aux objectifs ; Décision et sélection de la solution optimale ; Implémentation.

Notre proposition est semblable par sa nature aux typologies précédentes. Nous faisons l'hypothèse que toute activité (quelque soit sa nature, sa structure et ses objectifs) peut être considérée comme une forme particulière de résolution de problèmes faisant appel à des actions élémentaires qui se répètent (chacune avec une fréquence différente). La construction d'une typologie d'actions élémentaires est guidée par les finalités de notre travail :

- être en conformité avec les définitions usuelles des principales tâches de conception.
- permettre une représentation significative de la compétence (nous montrerons au chapitre suivant comment utiliser cette typologie dans ce but).
- être relatif aux effets de ces dernières sur l'objet (modifications éventuelles) ainsi que la production de connaissances.

Cinq formes d'actions élémentaires ont été retenues dans notre modèle (figure IV-57), il s'agit des actions :

- **Analyse / compréhension :** Le but de ces actions est d'extraire de nouvelles informations et connaissances de l'objet de l'étude (ou du problème à résoudre). Le résultat de ces actions n'influe pas sur l'état de l'entité objet étudié, l'acteur devra identifier des éléments nouveaux pouvant lui permettre de résoudre son problème.
- **Recherche / Génération (ou proposition):** Ces actions auront pour résultats la génération et la proposition de nouvelles idées, de nouvelles hypothèses, de nouveaux

principes de solution, ... afin d'élaborer la méthode de résolution du problème. Ce type d'action peut influencer la structure de la situation par la création, ou la modification de l'état de certaines entités.

- **Mesure / Evaluation** : Ces actions permettent d'obtenir de nouvelles informations sur les propriétés de certaines entités et de les classer par rapport à certains critères, elles peuvent être utiles pour aider l'acteur dans ses décisions à prendre.
- **Choix / Décision** : L'action de décision peut avoir un effet (direct ou indirect) sur au moins un état d'une des entités. L'acteur choisit une alternative à suivre pour résoudre son problème. Il se base sur les résultats de l'action d'évaluation pour valider ou non les propositions qu'il vient de se faire dans l'action recherche.
- **Traitement / Exécution** : La dernière catégorie concerne les actions qui produisent des effets immédiats sur la situation. Ces effets sont souvent des transformations, de nature physique ou informationnelle, sur l'objet de l'activité et sont observables par d'autres acteurs de la situation.

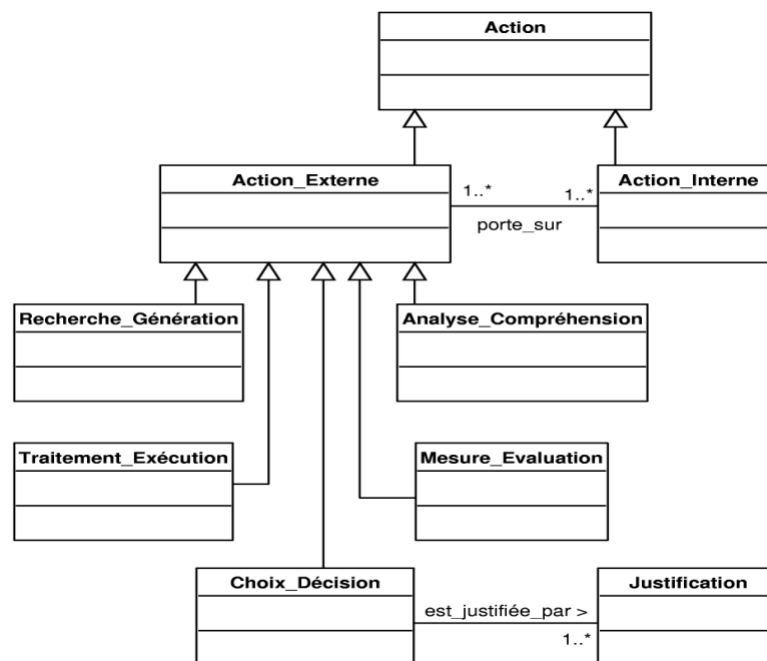


Figure. IV-57. Les actions élémentaires

Nous rappelons enfin qu'en raison du caractère itératif des activités de conception, le modèle de réalisation d'une activité de conception quelconque ne suit pas forcément un chemin linéaire comme dans le cas de la vue macroscopique des tâches principales de conception [Pahl & al. 1996]. La fréquence d'appel des actions élémentaires diffère, elle aussi, d'une action à une autre, selon la nature de l'activité. La figure (IV-58) montre les différents chemins possibles pour constituer un plan d'actions permettant de réaliser une activité donnée.

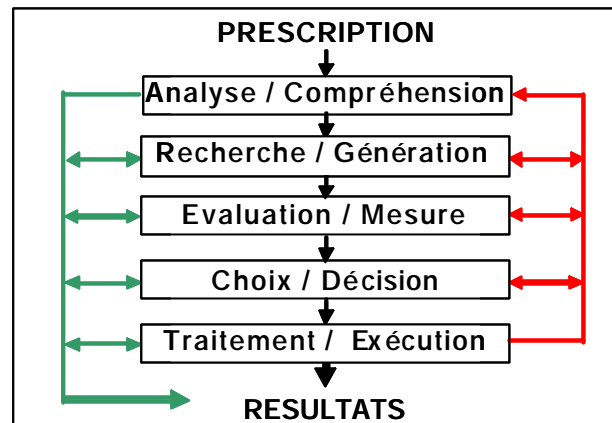


Figure. IV-58. Structure générique des plans d'actions

Dans notre exemple, le déroulement de l'activité "analyse des meubles" s'est effectué comme il a été prévu initialement par les acteurs selon un plan d'action composé de neuf actions successives (de type traitement, évaluation, analyse et décision) (figure IV-59). A chaque action correspond la création ou la modification d'une entité de la situation. Cette activité a nécessité l'occurrence de plusieurs interactions de type communication avec des ressources provenant d'univers différents pour recueillir les informations. Deux autres interactions coopératives sont aussi retenues : la première avec le chef de marché pour assurer les liens avec les différents clients et la deuxième avec le chef de projet pour les validations lors des revues de projet.

Concrètement, la première action de traitement consistait à recueillir toutes les informations possibles sur les meubles tv existant sur le marché. Plusieurs objets "notes" sous forme brute ont été créés par conséquent. Ensuite, l'action d'analyse des informations recueillies a permis la création de l'objet "fiche de synthèse". Dans les deux actions 3 et 4 sont imaginées puis réalisées les premières planches de présentation qui vont être ensuite utilisées comme support dans la réunion de revue de projet. Les actions 5 et 6 ont comme but de classer les différentes informations selon des critères précis et de modifier les planches de présentation afin de mettre en avant ces critères. Finalement, les trois dernières tâches avaient pour but de faire une dernière itération pour évaluer le cœur de gamme pour les différentes classes de prix identifiées.

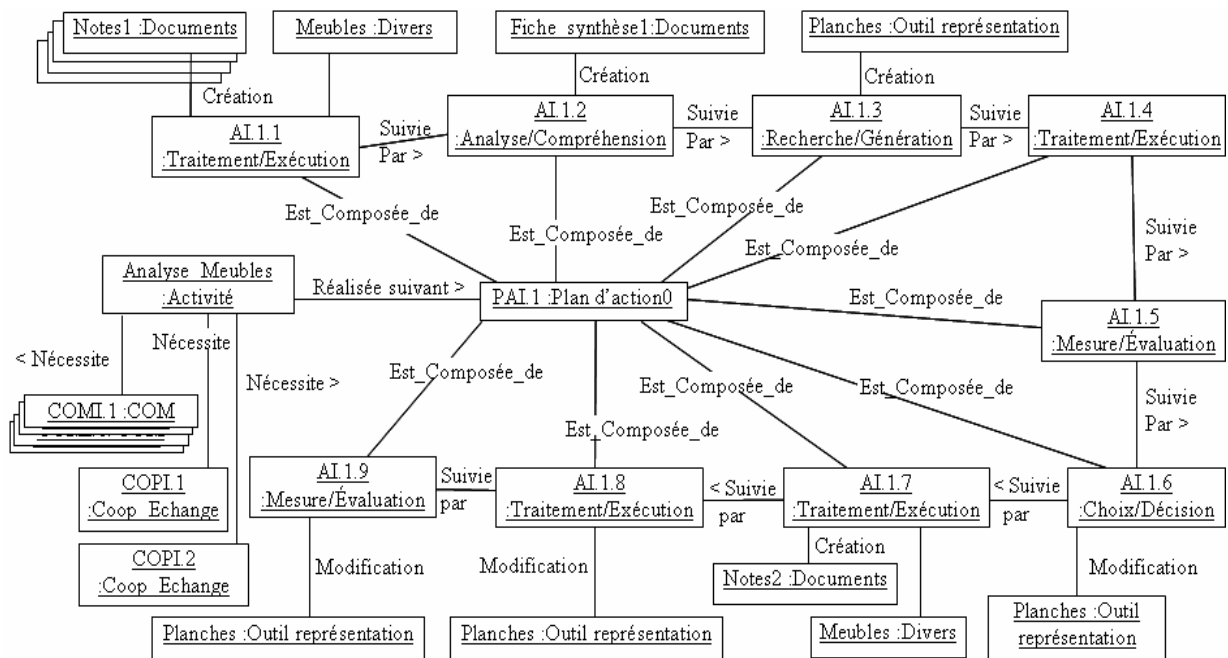


Figure. IV-59. Exemple du plan d'action de l'activité "Analyse des meubles"

Le deuxième exemple d'activité (réalisation des plans) est plus complexe. Le plan d'action initialement prévu par les acteurs a subi quelques modifications pendant le déroulement de l'activité. La version 0 du plan d'action est composée, comme le montre la figure (IV-60), de six actions principalement exécutives pour représenter explicitement les solutions techniques retenues dans les précédentes tâches. Deux E.I. de type coopération par échange ont été envisagées : la première avec J.S., chef de service conception technique, pour le suivi technique de l'activité et la deuxième, avec le chef de projet, pour la validation lors des revues de projet.

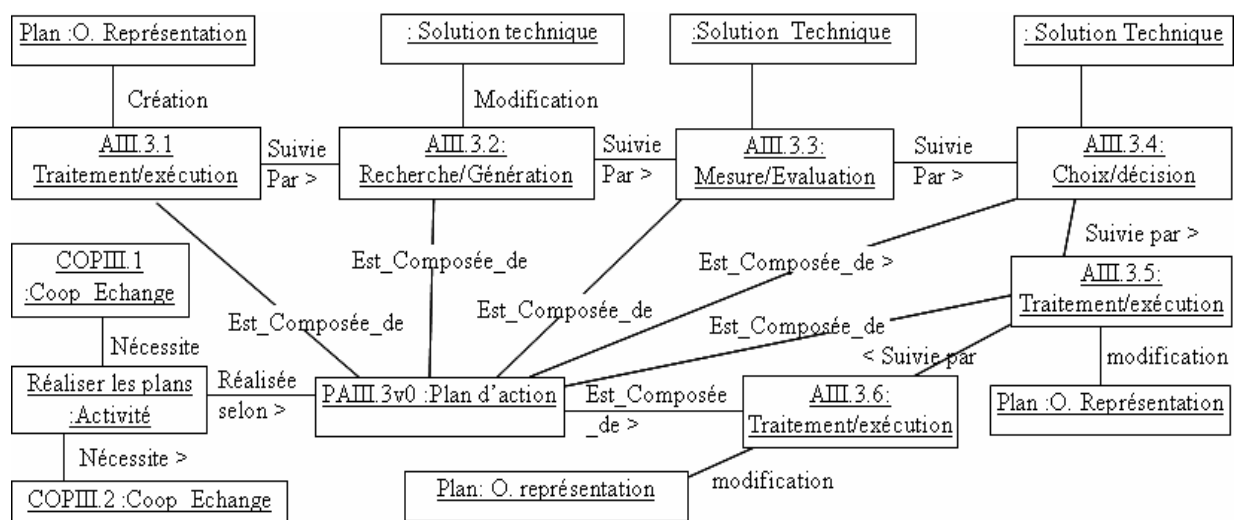


Figure. IV-60. Exemple du plan d'action (version 0) de l'activité "réalisation des plans"

La version 1 du plan d'action (figure IV-61) est la version réellement suivie durant l'activité. Elle est composée de neuf actions élémentaires et a fait introduire deux E.I. de communication avec le magasinier et un informaticien de l'entreprise. Après l'action III.5 qui consistait à préciser les choix des paramètres de la solution technique retenue dans les plans, certains problèmes ont été observés. Ces problèmes ont été discutés lors d'une réunion coopérative avec le chef de service conception (J.S) et le chef de projet (D.B.). A l'issue de cette réunion, les solutions techniques retenues dans les tâches 1 et 2 ont été modifiées pour tenir compte de nouvelles contraintes de résistance du meuble et de flexibilité en rotation. Trois actions supplémentaires ont été ainsi ajoutées pour intégrer les modifications (les deux solutions complémentaires de pied et plateau tournant décidées dans l'action 6) dans les plans du produit.

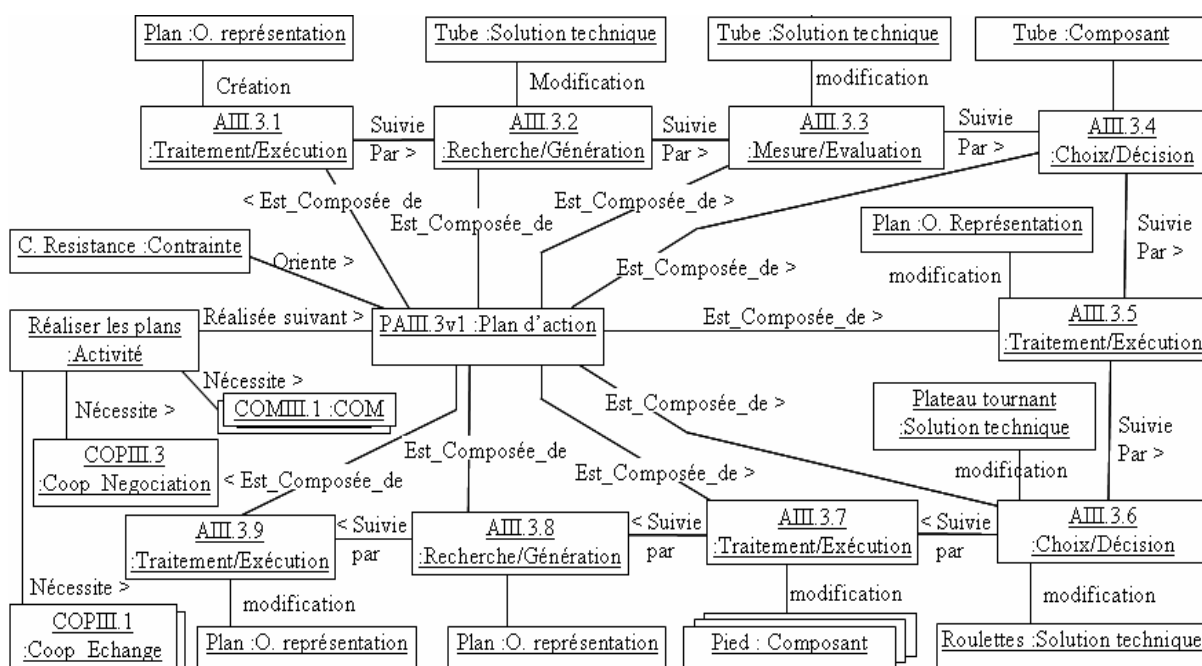


Figure. IV-61. Exemple du plan d'action (version 1) de l'activité "réalisation des plans"

La figure (IV-62) montre un exemple de représentation d'une entité interactionnelle transactionnelle de type coopération par échange. Cette coopération a porté sur la solution technique choisie. Elle a par conséquent remis en cause certains résultats de l'activité de définition des solutions techniques. On retrouve dans cette coopération les mêmes managers (DB et JS). Le détail des différentes réunions associées à cette coopération est enregistré dans des comptes rendus qui sont des objets de type description.

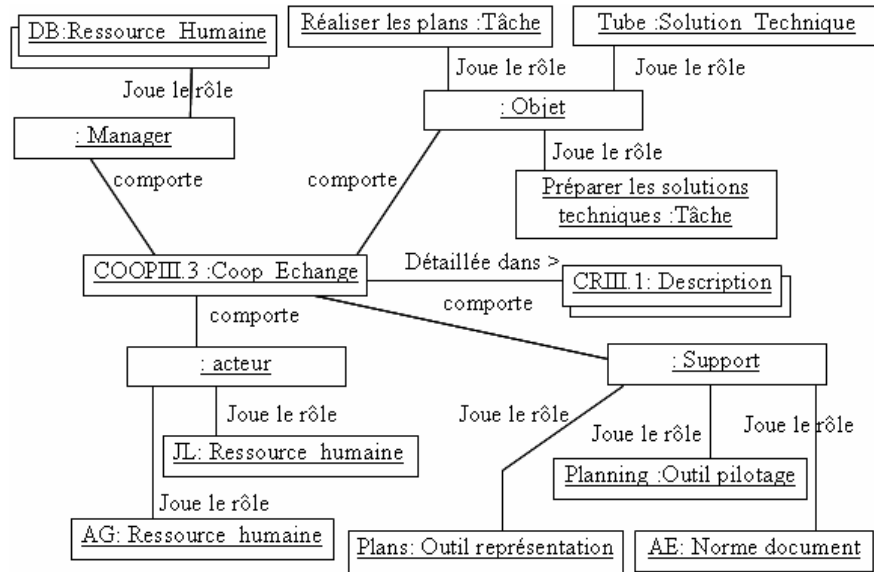


Figure. IV-62. Exemple d'une entité interactionnelle transactionnelle "coopération"

V. VERS UNE DEMARCHE DE TRAÇABILITE

La démarche de traçabilité préconisée est une démarche progressive et itérative pour construire les différentes instances du modèle [Belkadi & al., 2004b]. Elle se décompose en cinq phases (figure IV-63) : Une première phase d'initialisation, trois phases d'extraction de connaissances et une dernière phase de structuration et de modélisation.

La phase d'initialisation a pour objectif de repérer les sources d'informations et élaborer le plan d'action.

Dans cette phase, pour l'instanciation de nos modèles, nous avons assisté à la réunion du début de projet pour mieux cerner ses objectifs. Nous avons distribué aux étudiants des formulaires pour qu'ils prennent des notes au fur et à mesure du déroulement de leurs activités.

La phase d'identification du domaine vise à recenser tous les éléments présents initialement dans le domaine étudié : toutes les ressources humaines qui seront amenées à participer (directement ou indirectement) au projet, les structures organisationnelles dans l'entreprise et les entités matérielles mises à disposition de l'équipe projet ou un livrable prévu du projet.

L'application de cette deuxième phase sur notre exemple nous a permis d'identifier les entités de base souvent utilisées dans l'entreprise Parisot Meubles (logiciels, manuels, ...) ainsi que les différentes entités interactionnelles communautaires de cette entreprise (départements).

La phase d'analyse du prescrit a pour but d'identifier les différents objectifs du projet et de les structurer, premièrement, par rapport aux différents processus génériques de l'entreprise et, deuxièmement, par rapport aux différentes tâches identifiées dans ces processus.

Dans notre application, nous avons utilisé le planning prévisionnel et les documents des macro-processus existants. Nous avons recensé aussi dans cette phase les différentes contraintes prescrites au début du projet. A l'issue de cette phase, nous avons obtenu une première formulation des E.I. contraintes et les E.I. opérationnelles de type prescription.

La phase d'analyse de l'activité est la phase la plus longue dans la démarche. Dans un premier temps, pour chaque tâche identifiée dans la phase précédente, les acteurs renseignent leur plan d'action prévu initialement. Par la suite, les acteurs enregistrent les actions réalisées, les entités produites ou modifiées par ces actions ainsi que les interactions transactionnelles associées. A l'issue de cette phase, les structures des plans d'actions, du modèle produit et des EI transactionnelles sont définies.

Pour notre exemple, nous nous sommes basés sur le retour de formulaires spécifiques (remplis par les étudiants) et sur les comptes rendus des réunions d'avance de projet. Nous avons créé des documents de synthèse pour chaque processus afin de récupérer les informations clés, de supprimer les redondances et de réécrire ces informations conformément à nos concepts.

Dans la dernière phase, toutes les informations recueillies sont structurées par rapport au modèle générique de la situation, présenté dans ce chapitre. L'étape d'actualisation est une étape supplémentaire qui consiste à revenir vers les acteurs pour demander certaines informations manquantes lors de la construction des instances des modèles.

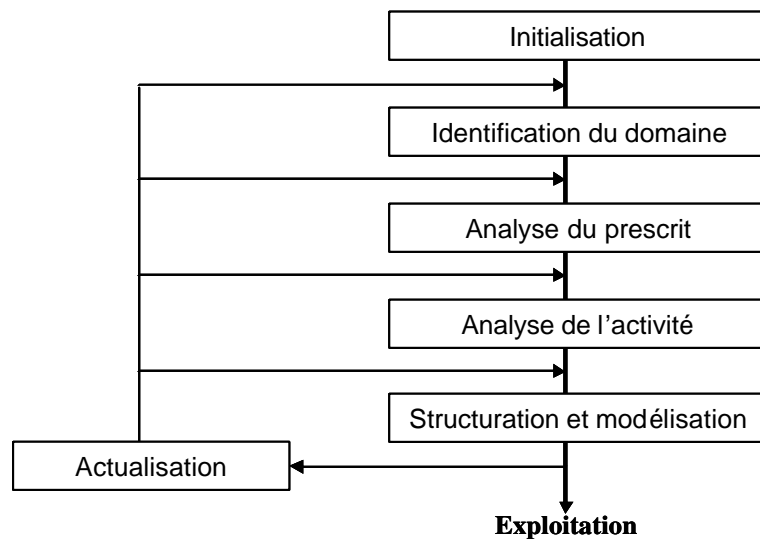


Figure. IV-63. Démarche de traçabilité préconisée

VI. CONCLUSION

L'objectif des modèles génériques que nous avons élaborés est de servir de base au développement de mémoires de projets de conception de produit dans une perspective d'aide au pilotage des compétences. Compte tenu de la généricité de l'approche choisie, on peut noter que les modèles génériques de traçabilité ne sont pas limités au seul aspect du domaine de la conception et peuvent être adaptés à d'autres domaines. Ainsi, d'autres formes d'entités de base, d'entités interactionnelles et de rôles spécifiques peuvent être introduites pour refléter la spécificité d'un domaine particulier.

Notre modèle de traçabilité bien que reposant sur des modèles générique s'est plutôt orientée vers les aspects organisationnels, opérationnels et collaboratifs du projet et moins sur les aspects techniques, qui ont déjà fait l'objet de travaux intéressants. Ceci ne limite pas les possibilités d'utilisation (ou d'extension) de nos modèles pour des fins de réutilisation technique.

Les aspects organisationnels sont tracés: par la structuration des objectifs, par la structuration des entités communautaires et par l'organisation réelle de la réalisation des activités. La notion d'actions élémentaires proposée dans ce cadre, introduit plus de détails sur la traçabilité des aspects opérationnels. Cette notion est d'un intérêt particulier pour classifier les activités réalisées dans un processus de conception et par conséquent pour avoir une première caractérisation des compétences associées. De même, l'objectif d'intégrer les capacités relationnelles dans la caractérisation des compétences justifie notre typologie des interactions transactionnelles.

La classe "rôle spécifique" donne un regard complémentaire sur le "qui fait quoi et comment le fait-il ?". Elle permet d'apporter une grille de lecture unifiée du projet à travers les différents niveaux de participation de chaque élément du projet dans toutes les interactions produites. Elle permet par conséquent de mieux représenter la structure globale d'une situation de travail.

Par contre, la complexité de construction des modèles pour certains niveaux de granularité impose lors de l'application, au départ, un effort cognitif important pour la recherche et l'extraction des connaissances. Pour cette raison, nous pensons que l'implémentation informatique qui devra suivre doit être intégrée dans des systèmes de type collaboratif afin d'encourager les acteurs à faire une traçabilité en temps réel de leur activité [Belkadi &al., 2004b].

Dans le chapitre suivant, nous allons montrer une utilisation possible d'exploitation des connaissances tracées à des fins d'aide au pilotage des compétences, en particulier, pour leur caractérisation.

Chapitre V

Sommaire du chapitre V

I. Principe général de l'approche de caractérisation.....	128
II. Représentation de la compétence	130
II.1. Modèle générique UML de la compétence	131
II.2. Les connaissances techniques	132
II.3. Les capacités opératoires.....	133
II.3.1. La capacité d'analyse	133
II.3.2. La capacité d'organisation.....	134
II.4. Les capacités relatives aux règles de conduite	134
II.4.1. La capacité relationnelle.....	134
II.4.2. La capacité décisionnelle.....	134
III. Caractéristiques de la situation	135
III.1. Variables caractéristiques de la complexité de la situation.....	136
III.1.1. Complexité par rapport à l'objet	136
III.1.2. Complexité par rapport au nombre d'actions élémentaires	137
III.1.3. Complexité par rapport au nombre de contraintes.....	138
III.1.4. Complexité par rapport au nombre d'entités	138
III.2. Variables pour décrire la nature de l'activité.....	139
III.2.1. Proximité de l'activité par rapport à l'aspect "Analyse".....	139
III.2.2. Proximité de l'activité par rapport à l'aspect "Décision"	140
III.2.3. Proximité par rapport à l'aspect "Exécution"	140
III.3. Variables caractéristiques de la nature relationnelle.....	141
III.3.1. Type de transaction.....	141
III.3.2. Nombre de participants	141
III.3.3. Fréquence d'interaction avec une entité.....	142
IV. Le Module de traitement flou	142
IV.1. Fuzzification	142
IV.2. Moteur d'inférences	144
IV.2.1. Règles d'inférences pour les niveaux de connaissances techniques.....	144
IV.2.2. Règles d'inférences pour la capacité d'Analyse	145
IV.2.3. Règles d'inférences pour la capacité d'Organisation	146
IV.2.4. Règles d'inférences pour la capacité Décisionnelle	146
IV.2.5. Règles d'inférences pour la capacité Relationnelle	146
IV.2.6. Le calcul d'inférences	146
IV.3. Défuzzification.....	147
V. Exemple d'application	148
V.1. Capacités opératoires et règles de conduite	148
V.2. Niveaux de connaissances techniques.....	152
VI. Conclusion.....	153

CHAPITRE V

VERS UNE CARACTERISATION DES COMPETENCES PAR UNE APPROCHE FLOUE

La caractérisation des compétences vise à définir différentes vues complémentaires (fonctionnelle, structurelle et dynamique) relatives à son architecture, son fonctionnement et les mécanismes de son évolution. Des représentations "formelles" peuvent être construites, intégrant différents composants de la compétence. L'ensemble de ces représentations peut ensuite être structuré dans des référentiels pour pouvoir stocker les informations sur les compétences acquises par les acteurs d'une organisation ou les compétences requises par ses processus (ou mission). Une expression caractéristique d'une compétence doit reposer sur une typologie des ressources de la compétence associée à des niveaux de maîtrise évalués sur des échelles prédéfinies.

Dans ce chapitre, nous proposons une méthode basée sur la logique floue pour approximer, par des systèmes d'inférences, un raisonnement possible du manager chargé de caractériser une compétence relative à une situation de travail, ceci afin de permettre à la GRH de construire des référentiels et de faciliter leur mise à jour. Cette approche s'intéresse principalement à la caractérisation des compétences acquises par les acteurs. Elle repose sur une connaissance des caractéristiques de la situation traitée. Ces caractéristiques doivent être récupérées, au cours de l'activité, par un système de traçabilité. La démarche proposée suppose aussi que les résultats de l'activité analysée ont reçu un jugement positif permettant de valider la compétence concernée.

Dans le paragraphe suivant, nous présentons la démarche globale de caractérisation. Nous revenons sur les hypothèses de base de notre approche. Les autres paragraphes visent à expliciter la méthode étape par étape, à présenter les variables de la situation et la structure du système d'inférence flou proposé. Le choix des variables et des règles d'inférences découlent de discussions avec des managers et de notre observation de leur pratique sur le terrain.

Enfin, le dernier paragraphe va traiter un exemple académique pour illustrer l'utilisation de la méthode.

I. PRINCIPE GENERAL DE L'APPROCHE DE CARACTERISATION

Comme nous l'avons souligné en synthèse du chapitre II, la compétence est caractérisée par quatre éléments complémentaires. Le premier correspond à une vue fonctionnelle (à quoi sert la compétence ?) et les autres à une vue structurelle (quels sont les composants activés et comment sont-ils organisés pour réaliser l'activité ?) :

- La mission qui est le référent de la compétence à caractériser "effectuer la mission ...". Cette première description est obtenue de la vue mission dans les modèles de traçabilité.
- Les éléments descriptifs de l'organisation de l'activité "réaliser un ensemble d'actions de type ...". Ceci peut permettre d'inférer des règles de type : "si un acteur a prouvé qu'il a réalisé une activité comportant un ensemble d'actions A_i alors cet acteur sera capable de réaliser une autre activité constitué uniquement par le sous-ensemble de A_i ". Cette description peut être obtenue à partir de la vue activité dans nos modèles de traçabilité et plus précisément, de la trace du plan d'action.
- Les connaissances techniques qui sont mobilisées dans l'activité "connaître ...". Ces connaissances concernent les entités objet et support de l'activité.
- Les capacités et les règles de conduite employées durant la réalisation de l'activité "avoir la capacité de ...". Ce dernier type de composants est de nature cognitive, a priori difficilement formulable. Cependant, il est possible de caractériser des éléments matériels de la situation qui font appel à ces capacités.

Les deux premiers types de composants sont relativement simples à caractériser à partir des traces de l'activité et des vues "mission" et "plan d'actions" présentées au chapitre IV. Notre contribution s'oriente donc vers une aide à l'estimation des valeurs de maîtrise de composants de type "connaissances techniques" et "capacités" déployées (estimées) durant l'activité. En effet, ce type de composants nécessite des méthodes plus spécifiques pour interpréter leur caractère cognitif. L'idée de base de notre approche est d'utiliser les principes de la logique floue pour "fuzzifier" le raisonnement de l'expert "manager" en charge de la caractérisation des compétences et de l'élaboration des référentiels de compétences et traitant des informations qualitatives.

En 1965, le mathématicien Lotfi Zadeh de l'Université de Berkeley (USA) introduit la théorie des sous-ensembles flous. Il l'enrichit ensuite par des approches de la théorie des possibilités pour obtenir "la théorie de la logique floue" [Zadeh 1965]. Les résultats de recherche de Zadeh sont restés au stade théorique jusqu'à 1974, date de la réalisation du premier contrôleur à base de logique floue par le professeur Mamdani [Bühler 1994]. Depuis 1985, plusieurs

applications industrielles ont vu le jour grâce aux contributions de chercheurs automaticiens [Schwartz &al., 1994]. Nous présentons en annexe VII les notions de base de ce formalisme.

Nous avons choisi de focaliser notre travail sur la caractérisation d'une compétence validée en utilisant les traces d'une activité réellement effectuée pour construire la rubrique "compétences acquises" du référentiel [Belkadi &al., 2006a]. Les démarches rencontrées dans la littérature (présentées dans le chapitre II, § IV.1), ont été adaptées pour construire les étapes de la méthode (figure V-64) : recueillir les informations sur la situation, les structurer, trouver les correspondances entre les caractéristiques des situations et celles des compétences et finalement, estimer les caractéristiques des compétences mises en œuvre durant l'activité.

Pour l'étape de recueil d'informations brutes, nous préconisons l'utilisation d'un système de traçabilité structuré selon les modèles de situation présentés au chapitre IV. Pour l'étape de caractérisation de la situation, nous définissons des variables caractéristiques pour qualifier les données tracées et structurées selon les modèles de situation (chapitre IV). Pour la troisième étape, nous définissons les liens entre les caractéristiques de la situation et celles des compétences associées par un système de traitement flou.

Enfin, la dernière étape permet, par instanciation, de caractériser les compétences en vue de les intégrer dans un référentiel [Belkadi &al., 2006b]. Dans ce qui suit, nous présentons les différentes étapes de notre approche. Nous détaillons ensuite un exemple illustratif du processus de caractérisation de la compétence associée à l'activité "réaliser les plans" présentée dans le chapitre IV.

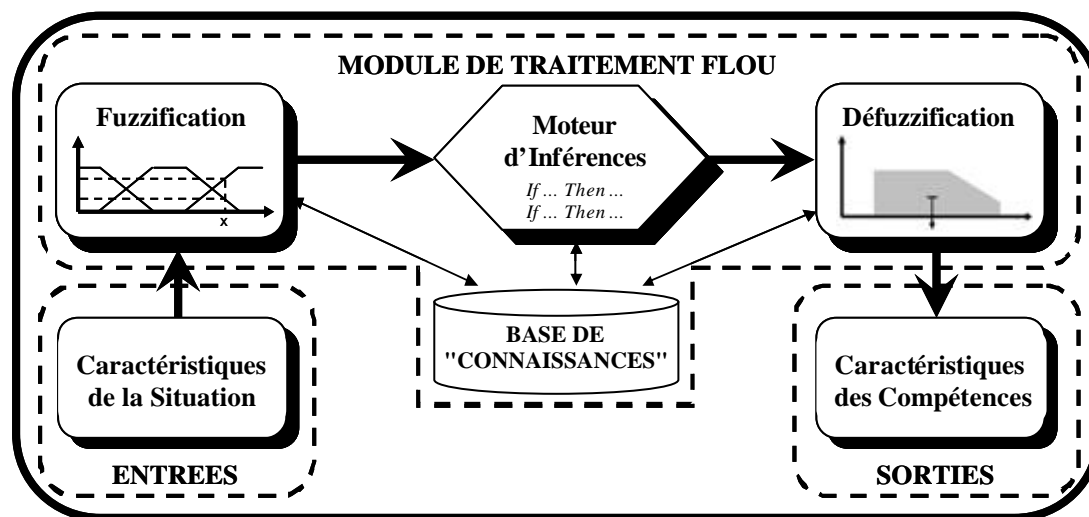


Figure V-64. Principe général de l'approche de caractérisation des compétences

Notre approche repose sur les hypothèses suivantes :

- L'activité analysée pour laquelle on cherche à caractériser la compétence associée est considérée comme achevée et ses résultats sont considérés comme satisfaisants au

regard des objectifs de la mission définie par l'organisation. Ce qui implique que l'acteur chargé de la réalisation de l'activité possède la compétence identifiée (ou l'a acquise durant l'activité).

- Au cours de son activité, l'acteur est en interaction avec différents éléments à travers des entités interactionnelles (c.f. chap. III). La réussite de l'activité permet d'induire de la part de l'acteur, d'un côté, un certain niveau de maîtrise des ressources matérielles mises à sa disposition, et d'un autre côté, un potentiel cognitif et un comportement relationnel satisfaisants. Nous supposons donc que le niveau d'une compétence validée est fonction de ces différentes interactions. Ce qui revient à supposer que : "pour aboutir aux résultats escomptés de l'activité, il a suffi de mettre en œuvre les niveaux "N_i" des composants de compétence "C_i" en correspondance avec la nature des interactions produites durant l'activité" (hypothèse de base, figure V-65).
- A chaque composition de situation (entités-interactions) correspond au moins une combinaison de caractéristiques qualificatifs de cette situation. Ces caractéristiques sont relativement stables à l'intérieur d'une classe de situations et nous les considérons comme des invariants permettant d'exprimer la relation : ***Situation P Compétence***.

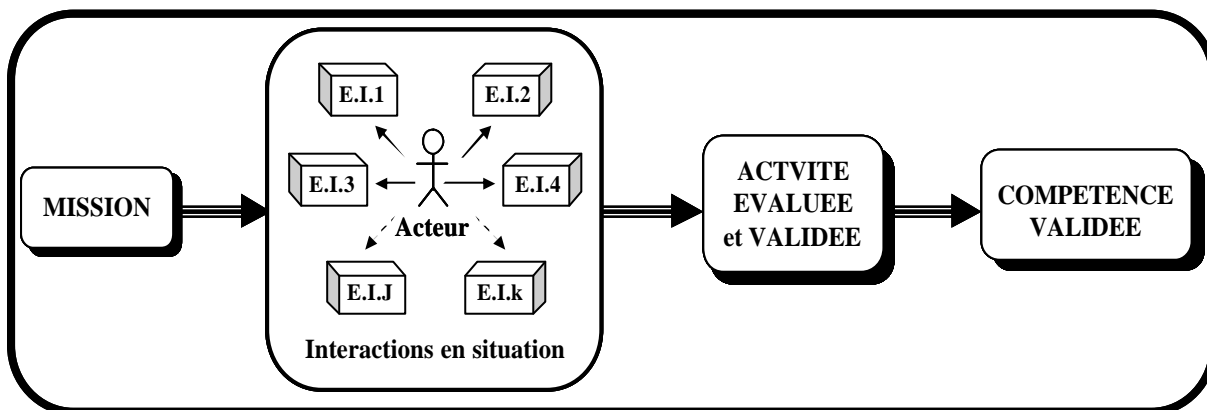


Figure V-65. Hypothèse de base de la méthode

II. REPRESENTATION DE LA COMPETENCE

L'analyse de l'activité des concepteurs ainsi que la représentation du fonctionnement d'un schème (cf chap II) permet de mettre en évidence l'existence de deux types de composants importants dans la caractérisation d'une compétence : les connaissances techniques et les capacités opératoires (d'analyse et d'organisation) ou relatives aux règles de conduite (décisionnelle et relationnelle). Ce type de typologie se retrouve dans certains travaux du génie industriel [Rose &al., 2006], [Hermosillo, 2003] ...

Les composants de la compétence sont structurés sous forme d'un modèle générique global UML que nous présentons dans la partie suivante.

II.1. Modèle générique UML de la compétence

Ce modèle générique de la compétence (figure V-66) est proposé en cohérence avec le modèle théorique du schème. Dans ce modèle UML, une compétence est toujours associée à au moins une tâche ou une tâche générique (première caractérisation de la compétence par rapport à la mission qui fait appel à cette compétence). Chaque compétence a été acquise par un (ou des) acteur(s), individuel(s) (relation d'association avec la classe "Ressource_Humaine"), ou collectif(s) (relation d'association avec la classe "EI_Communaire").

La classe compétence est supportée par un ou plusieurs schèmes qui structurent l'ensemble des composants de la compétence dans des classes appelées "Réservoir_Cognitif" et "Règle_Conduite". Le réservoir cognitif est à son tour composé d'un ensemble de connaissances techniques et de capacités que nous détaillerons par la suite. Les différents schèmes représentent différentes façons de faire, identifiées chez des acteurs comme satisfaisantes pour atteindre la performance désirée, donc une compétence reconnue. La relation de composition sur le schème permet une représentation récursive d'un schème en sous-schèmes [Bonjour &al., 2005b].

La classe "Classe_Situation" (cf. chap IV) permet d'associer la compétence à la famille de situations dans laquelle elle peut être mise en œuvre. Cette association permet de créer le lien entre les composants de la compétence et les différentes entités de la situation.

La classe "Tâche_Générique" est la représentation d'une famille de tâches similaires selon un ou plusieurs critères de généralité (définis dans un attribut de la classe "tâche générique"). Ces critères permettent à l'entreprise de regrouper ses besoins en compétences selon ses priorités :

- Généralité selon les objectifs de la mission, où l'entreprise recherche les experts compétents sur un type d'objectifs indépendamment de l'objet traité par la mission correspondante. L'entreprise pourra envisager, au besoin, des formations complémentaires relatives au domaine de l'objet ou à l'utilisation d'outils spécifiques. Par exemple, une entreprise de réalisation de meubles peut recruter un "qualiticien" qui maîtrise les méthodes et normes de la qualité pour "cartographier les processus de conception" mais ne connaît pas très bien l'objet meuble en bois (par exemple, les types de solutions techniques, les modes de production, ...).
- Généralité selon l'objet : dans ce cas, la priorité est donnée à la connaissance et la maîtrise de l'objet de la mission. A titre d'exemple, une entreprise de meuble peut envisager d'affecter, à un poste d'achats, une personne de formation bois (pour trouver le bon compromis entre la qualité de l'objet acheté et son coût) et de la former aux techniques de négociation et d'achat (objectif de sa mission).

- Généricité selon le support : la tâche générique correspond dans ce cas à la famille de tâches ayant pour support de réalisation (rôle support) des moyens de travail et des outils spécifiques. Par exemple, la maîtrise du logiciel ProEngineer peut être un critère prépondérant de choix d'un concepteur.

Bien souvent, plusieurs critères sont précisés simultanément pour un recrutement.

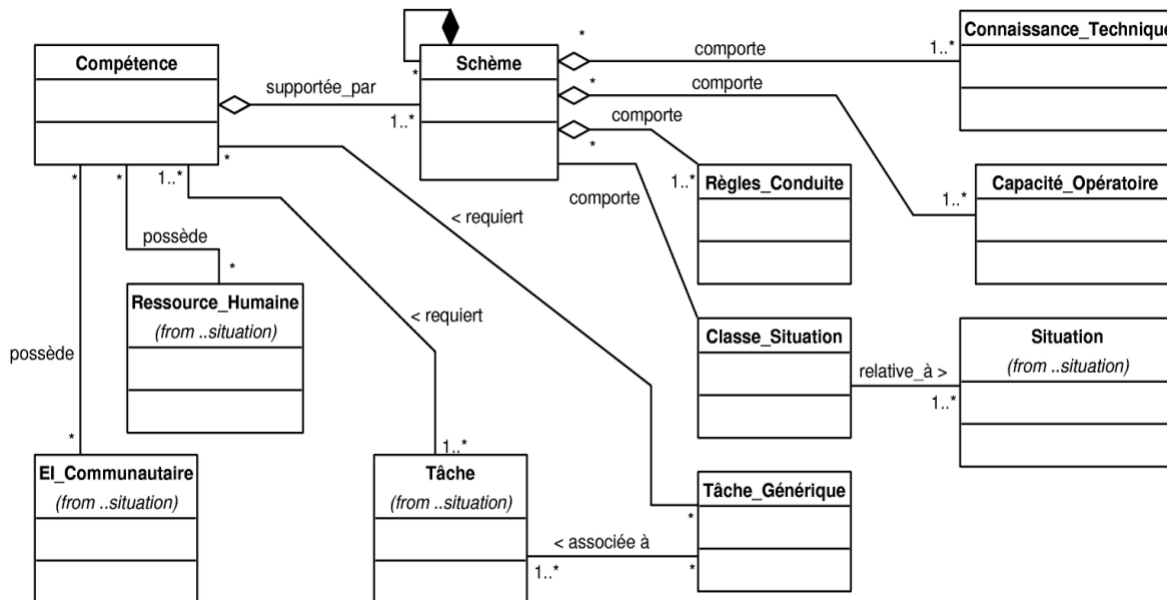


Figure V-66. Modèle générique de la compétence

II.2. Les connaissances techniques

Les connaissances techniques concernent les savoirs théoriques, ou pratiques relatifs aux entités impliquées dans l'interaction. Nous avons classé ces connaissances en trois catégories principales en correspondance avec le rôle de l'entité dans l'interaction :

- **Connaissances techniques "opérationnelles"** relatives aux besoins de compréhension, d'interprétation et de mise en œuvre : des contraintes de réalisation de la mission, des procédures de réalisation de la tâche, ...
- **Connaissances techniques "support"** relatives aux besoins de manipulation des entités ayant le rôle de support dans l'interaction, par exemple l'utilisation des référentiels (ou guides) de conception, le mode d'emploi des outils, ...
- **Connaissances techniques "objet"** relatives au domaine de l'objet et aux besoins de manipulation des entités ayant le rôle d'objet dans l'interaction.

Chaque catégorie de connaissances est évaluée par un niveau de maîtrise spécifique. Les niveaux de maîtrise que nous avons retenus sont une adaptation de taxonomies existantes (cf. chapitre II). Nous avons proposé une taxonomie de quatre niveaux de maîtrise hiérarchisés de la façon suivante :

- **Notions de base** : ce niveau correspond au minimum de connaissances techniques nécessaires pour comprendre les caractéristiques d'une entité, ou d'un problème à résoudre, de son domaine et éventuellement, de son fonctionnement.
- **Application** : ceci correspond à un niveau de maîtrise minimum pour pouvoir manipuler la connaissance et l'appliquer à la résolution du problème en cours.
- **Transposition** : ce niveau de maîtrise permet à un acteur d'adapter et de combiner des connaissances existantes afin de les appliquer sur des nouveaux cas du domaine.
- **Expertise** : c'est le niveau le plus élevé signifiant une maîtrise parfaite d'une connaissance technique sur une entité ou un domaine.

La fin de cette partie concerne la description des différentes capacités. Les effets des capacités sont relatifs à l'acteur et à la complexité de la situation dans laquelle ces capacités sont déployées par l'acteur pour effectuer sa mission. La caractérisation d'une capacité est plus difficile à obtenir en raison de son caractère subjectif. Elle est représentée dans notre approche par une note relative traduisant une estimation de son niveau de déploiement en fonction de ce qui est observé dans les éléments de la situation (type d'objet, nombre d'entité à organiser, ...). L'acteur devra apporter des preuves tangibles, caractéristiques de son activité, permettant d'évaluer ces capacités. Pour aider les managers à définir de telles caractéristiques, après avoir défini les différents types de capacités (§ II.3), nous proposons un ensemble de variables qui sera lié aux niveaux de maîtrise de ces capacités (§ III).

II.3. Les capacités opératoires

Deux caractéristiques nous ont paru représenter ces capacités dans le cadre de l'activité d'un concepteur : la capacité d'analyse et la capacité d'organisation.

II.3.1. La capacité d'analyse

Cette catégorie représente les capacités d'appréhender et de comprendre la situation en cours et de pouvoir en tirer les informations pertinentes pour son travail (mises en œuvre ou nécessaires) au cours de l'interaction avec la situation. Il s'agit de savoir observer et identifier les sources d'information, de savoir identifier les éléments pertinents et de les mettre en relation, de savoir faire des représentations utiles de l'ensemble, d'être capable de faire des synthèses et des déductions à partir de ces représentations.

II.3.2. La capacité d'organisation

Cette catégorie concerne l'effort mis en œuvre par un acteur pour définir un plan d'action et organiser les ressources durant l'activité. Il s'agit de savoir classer les entités du domaine, savoir choisir ses priorités, savoir planifier, décomposer une prescription en fonction des priorités choisies, modifier ou affiner un plan d'action.

II.4. Les capacités relatives aux règles de conduite

Suivant le modèle du schème, elles concernent les aspects relatifs à la décision de passage à l'acte dans un environnement de conception.

II.4.1. La capacité relationnelle

Elle concerne les comportements de l'acteur au sein de sa situation de travail avec les autres acteurs concernés par son activité. Il s'agit, pour un acteur, de respecter les règles d'une communauté, de savoir exprimer et communiquer ses idées et ses points de vue, de savoir les argumenter et les justifier, de savoir négocier, d'anticiper les conséquences de ses actions sur sa situation.

II.4.2. La capacité décisionnelle

Il s'agit d'être capable de définir ou d'identifier les critères de décision, de les classer et les hiérarchiser, savoir choisir et décider sur la base de ces critères, savoir réagir aux aléas et aux nouveaux événements, savoir anticiper et contrôler les conséquences d'une prise de décision.

La figure (V-67) illustre une signature. Les capacités précédemment définies sont représentées par quatre axes : analyse, organisation, décision et relation.

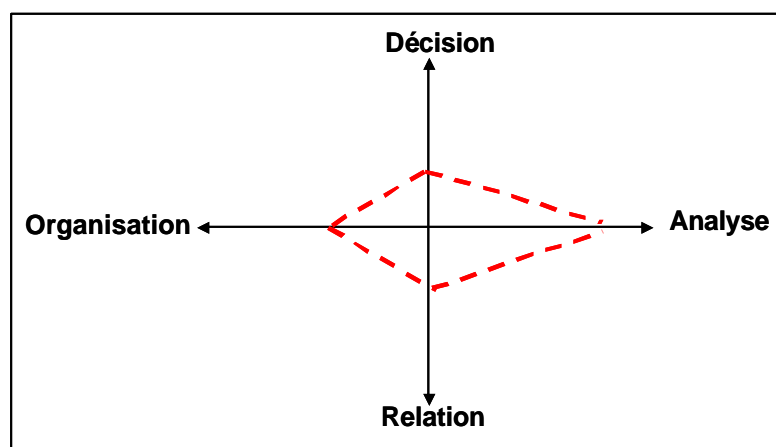


Figure V-67. Signature sur les quatre axes d'une compétence

III. CARACTERISTIQUES DE LA SITUATION

Les informations brutes sur la situation, stockées dans une mémoire de projet, ne sont d'aucune utilité prises dans cet état. **Le module de caractérisation de la situation** est une étape de prétraitement visant à générer de nouvelles connaissances ayant "un sens" par rapport au besoin de réutilisation affiché. Ces connaissances seront représentées à l'aide de variables spécifiques traduisant l'appréciation d'un expert.

Cependant, le jugement de l'expert est généralement exprimé en langage naturel. L'usage des variables de type linguistique est nécessaire pour représenter l'aspect qualitatif du jugement. Par exemple, [Weill 1990] a identifié trois variables qualitatives pour estimer la complexité de la tâche. Il considère que la tâche est d'autant plus complexe que le nombre et la variété des éléments traités sont élevés, qu'elle fait recours à beaucoup d'abstraction par manque d'information ou que le nombre de perturbations est important. Un autre exemple de variables qualitatives est celui proposé dans la méthode MTF [Rault 1993]. Dans cette méthode, la complexité de l'activité est évaluée à partir de sa nature (perceptive, rationnelle, applicative...) et de la diversité des moyens de contrôle pour sa réalisation. La complexité de communication est évaluée selon le nombre de personnes concernées et le mode d'influence.

Cette description reste vague et ne propose aucune préconisation pour estimer les valeurs de ces variables à partir de données réelles. L'estimation réelle d'une **variable linguistique** (voir annexe VII) peut être obtenue numériquement à partir d'indicateurs spécifiques mesurables, ou calculables, dans le domaine concret. [Pépiot 2005], par exemple, a proposé l'indicateur "temps" pour mesurer la variable : difficulté d'accès à une ressource de la compétence. Un autre exemple est proposé par [Idri, 2003] dans un modèle pour l'estimation d'effort de développement de logiciels informatiques. Dans ce modèle, l'estimation de l'influence de la taille de la base de données sur le coût global du logiciel est donné par le rapport [(taille de la base en bit)/(taille du programme globale en DCI)]. D'autres formulations des variables linguistiques portant sur le domaine d'aide à la décision sont proposées dans la littérature [Lesage 1997], [Aversa &al., 2002], [Herrera &al., 1994], [Limayem &al., 2000], ...

Une différence entre les différentes approches réside dans la façon avec laquelle l'instanciation des données est obtenue dans l'étape de fuzzification (§. IV.1). Pour notre approche, nous avons opté pour une instanciation relative calculée à partir de données tracées dans la situation. Nous proposons une sélection de variables linguistiques pour caractériser la situation. Nous faisons le choix de définir chaque variable par une expression mathématique basée sur les informations enregistrées dans une mémoire de projet. Il serait aussi possible d'estimer ces valeurs à partir de l'avis d'un expert ou à partir d'un benchmarking des pratiques connues dans des entreprises similaires.

Le tableau (V-6) résume les différents liens que nous avons identifiés entre les caractéristiques de la situation et les composants de la compétence. Dix variables linguistiques ont été ainsi

définies pour représenter la situation à travers sa complexité, la nature de l'activité traitée et la nature relationnelle des transactions relatives à cette activité.

		Connaissances Techniques	Capacités			
			Analyse	Organisation	Décision	Relation
Caractéristiques de la situation	Complexité		Complexité / Objet	Complexité / Action	Complexité / Contraintes	
				Complexité / Entités		
	Nature de l'activité	Proximité Exécution	Proximité Analyse		Proximité Décision	
	Nature relationnelle	Fréquence Interactions				Type de Transaction
						Nombre de Participants
	Entités et rôles	Rôles		Rôles		Rôles
		Ressources matérielles ; plan d'action	Produit ; Plan d'action	Entités ; Plan d'action	Contraintes ; Plan d'action	Ressources humaines

Tableau V-6. Caractéristiques de la situation et composants de la compétence

Les expressions mathématiques qui permettent de calculer les valeurs de ces variables caractéristiques à partir de données issues de la traçabilité sont détaillées dans le paragraphe suivant. C'est sur la base de ces variables que seront ensuite construites les fonctions d'appartenance de la partie fuzzification du module de traitement. Toutes les variables traduisent une estimation relative. Les valeurs correspondantes sont normalisées sur des intervalles [0, 100%] ou [-100% , 100%].

III.1. Variables caractéristiques de la complexité de la situation

La complexité de la situation est représentée par quatre variables : la complexité par rapport à l'objet, aux contraintes, aux entités et par rapport aux actions de l'activité.

III.1.1. Complexité par rapport à l'objet

La complexité par rapport à l'objet se définit selon les proportions de points de vue "produit" manipulés durant l'activité. Nous distinguons quatre niveaux de complexité associés à des pondérations entre 0 et 1. Ces niveaux représentent le degré **d'abstraction** nécessaire pour traiter les différents points de vue de produit (sous modèles : fonctionnel, ... paramétrique).

Nous faisons l'hypothèse que les activités qui portent sur un point de vue conceptuel ou fonctionnel nécessitent plus d'abstraction de la part de l'acteur et donc sont plus complexes à analyser que celles portant sur le point de vue comportemental, structurel puis finalement paramétrique. Cette hypothèse se vérifie dans les bureaux d'études puisque la pratique de l'analyse fonctionnelle reste difficile, les concepteurs ayant tendance à penser rapidement en termes de solution technique. Un objet traité uniquement selon le point de vue paramétrique est jugée relativement "simple" par rapport au niveau d'abstraction (cependant, il n'est pas forcément simple à traiter). Nous associons à chaque point de vue, un facteur de pondération :

(1 pour Conceptuel = Fonctionnel) > (0.70 pour Comportemental) >

(0.60 pour Structurel) > (0.20 pour Paramétrique)

L'expression de la complexité de l'objet se calcule par la formule suivante :

$$Comp_Objet = [\sum_{i=1..4} (pondération) \times (nombre\ d'objets / point\ de\ vue\ concerné)] / Total$$

... (Eq. V.1)

Ou plus explicitement :

$$Comp_Objet = [1 \times (point\ vue\ fonctionnel\ ou\ conceptuel) + 0,70 \times (point\ vue\ comportemental) + 0,60 \times (point.\ vue\ structurel) + 0,20 \times (point.\ vue\ paramétrique)] / (nombre\ total).$$

III.1.2. Complexité par rapport au nombre d'actions élémentaires

La nature de l'activité peut aussi être observée par rapport à sa complexité en termes de nombre d'actions élémentaires. Nous avons choisi d'estimer la complexité d'une façon relative par rapport à d'autres activités. Pour cela, plusieurs possibilités sont envisageables. Soit le nombre d'actions "idéale" pour cette activité est estimé par un expert ou par une pratique connue grâce à un benchmarking, soit on compare cette activité aux autres activités du projet. Nous posons comme hypothèse qu'une activité est d'autant plus complexe par rapport au nombre d'actions si le nombre d'actions élémentaires dans cette activité est supérieur à la moyenne des actions élémentaires dans les activités réalisées dans le même processus. L'expression mathématique traduisant la variable "Comp_Action" introduit trois variables intermédiaires pour comparer l'activité traitée aux autres activités :

- La moyenne des actions par activité dans le processus correspondant

$$Moy_A = [\sum_{i=1..n} (Nombre\ actions\ dans\ l'activité\ i)] / (nombre\ d'activités)$$

- Distance des activités A_i par rapport à la moyenne ((+) : $NA_i > Moy_A$; (-) : $NA_i < Moy_A$) soit : $DA_i = NA_i - Moy_A$ (NA_i : Nombre d'actions dans l'activité i)

(La distance de l'activité traitée est notée $DA_{cible} \in \{DA_i\}$)

- Distance maximale $DA_{max} = \max (DA_i)$

La complexité de la situation par rapport au nombre d'actions élémentaires est :

$$Comp_Action = (DA_{cible}) / (DA_{max})$$

... (Eq. V.2)

Cette équation signifie que la situation est d'autant plus complexe que la distance DA_{cible} est nettement supérieure à DA_{max} (nombre d'actions dans l'activité est supérieur à la moyenne).

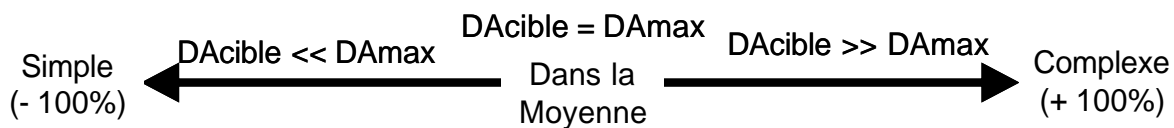


Figure V-68. Complexité de la situation par rapport au nombre d'actions

III.1.3. Complexité par rapport au nombre de contraintes

La complexité de la situation est aussi mesurable par rapport au nombre de contraintes affectant la réalisation de l'activité. De la même manière, l'expression mathématique traduisant la variable "Comp_Contrainte" introduit trois variables intermédiaires permettant de comparer l'activité traitée par rapport aux autres activités en termes de nombre de contraintes :

- La moyenne des actions par activité dans le processus correspondant

$$Moy_C = [\sum_{i=1..i} (\text{Nombre de contraintes dans l'activité } i)] / (\text{nombre d'activités})$$

- Distance des activités A_i par rapport à la moyenne

$$DC_i = NC_i - Moy_C \quad (NC_i : \text{Nombre de contraintes dans l'activité } i)$$

- Distance maximale $DC_{max} = \max (DC_i)$; La distance de l'activité traitée est notée $DC_{cible} \in \{DC_i\}$

La complexité de la situation par rapport au nombre de contraintes est :

$$Comp_Contrainte = (DC_{cible}) / (DC_{max})$$

... (Eq. V. 3)

III.1.4. Complexité par rapport au nombre d'entités

La complexité de la situation peut être observée aussi par rapport au nombre d'entités impliquées réellement dans la réalisation de l'activité. L'estimation du nombre d'entités est calculée par rapport au nombre total d'entités impliquées dans le processus référent (auquel

appartient la tâche correspondant à l'activité traitée). La participation de chaque entité est considérée en tenant compte du rôle avec lequel ces entités contribuent dans l'activité.

Nous posons l'hypothèse que la situation est d'autant plus complexe que l'activité traitée porte sur un nombre élevé d'objets, qu'elle est soumise à un nombre élevé de contraintes (rôle manager) et qu'elle fait intervenir plusieurs entités support. Nous associons de la même manière les pondérations respectifs : (1 pour objet > (0.80 pour manager) > 0.60 pour support).

Quatre variables intermédiaires sont utilisées pour le calcul de la complexité :

- Nombre d'entités par activité : $NE_i = [1x(\text{nombre d'entités objet}) + 0.80x(\text{nombre d'entités contrainte}) + 0.60x(\text{nombre d'entités support})]$

- La moyenne des entités par activité dans la réalisation du processus correspondant

$$\text{Moy}_E = [\sum_{1..i} (NE_i)] / (\text{nombre d'activités})$$

- Distance des entités E_i par rapport à la moyenne

$$DE_i = NE_i - \text{Moy}_E \quad (NE_i : \text{Nombre d'entités dans l'activité } i)$$

- Distance maximale $DE_{\max} = \max (DE_i) ; \quad (DE_{\text{cible}} \in \{DE_i\})$

La complexité de la situation par rapport au nombre d'entités est :

$$\text{Comp_Entité} = (DE_{\text{cible}}) / (DE_{\max})$$

... (Eq. V. 4)

III.2. Variables pour décrire la nature de l'activité

La nature de l'activité représente la concentration de type d'actions élémentaires réellement effectuées et structurées dans le plan d'action. Nous avons défini trois variables pour décrire la nature de l'activité :

III.2.1. Proximité de l'activité par rapport à l'aspect "Analyse"

Pour définir la proximité d'une activité donnée, nous posons comme hypothèse qu'une activité est de nature d'autant plus proche de l'aspect analyse que le nombre d'actions de type Analyse est important par rapport aux autres types d'actions élémentaires. Nous associons à chaque type d'action élémentaire une pondération traduisant sa (proximité) de l'aspect analyse.

(1 pour Analyse) > (0.90 pour Recherche) > (0.60 pour Décision) >

(0.50 pour Evaluation) > (0.15 pour Traitement)

De la même manière que pour les variables précédentes, la valeur de la proximité de l'activité par rapport à l'aspect analyse est donnée par l'expression suivante :

$$\begin{aligned} \text{Prox_Analyse} = & [1 \times (\text{nombre d'actions analyse}) + 0.90 \times (\text{nombre d'actions recherche}) \\ & + 0.60 \times (\text{nombre d'actions décision}) + 0.50 \times (\text{nombre d'actions évaluation}) + \\ & 0.15 \times (\text{nombre d'actions traitement})] / (\text{nombre total d'actions dans le plan d'action}) \end{aligned}$$

... (Eq. V.5)

III.2.2. Proximité de l'activité par rapport à l'aspect "Décision"

Une démarche similaire est suivie pour définir la proximité de l'activité par rapport à l'aspect décision. Seules les valeurs de pondération sont donc modifiées. Nous associons à chaque type d'action élémentaire une pondération traduisant sa proximité de l'aspect décision.

$$\begin{aligned} (1 \text{ pour Décision}) & > (0.90 \text{ pour Evaluation}) > (0.50 \text{ pour Recherche}) > \\ & (0.30 \text{ pour Analyse}) > (0.20 \text{ pour Traitement}) \end{aligned}$$

L'expression mathématique correspondant à cet aspect est la suivante :

$$\begin{aligned} \text{Prox_Décision} = & [1 \times (\text{nombre d'actions Décision}) + 0.90 \times (\text{nombre d'actions évaluation}) + \\ & 0.50 \times (\text{nombre d'actions recherche}) + 0.30 \times (\text{nombre d'actions analyse}) + \\ & 0.20 \times (\text{nombre d'actions traitement})] / (\text{nombre total d'actions dans le plan d'action}) \end{aligned}$$

... (Eq. V.6)

III.2.3. Proximité par rapport à l'aspect "Exécution"

De la même manière, nous pouvons définir la proximité de l'activité par rapport à l'aspect "exécution", cet aspect est représenté par la variable "Prox_Execution" et il représente la concentration des actions de type traitement dans l'activité. Nous associons dans ce cas les pondérations suivantes pour les différentes actions :

$$\begin{aligned} (1 \text{ pour Traitement}) & > (0.50 \text{ pour Evaluation}) > (0.30 \text{ pour Décision}) > \\ & (0.15 \text{ pour Recherche}) = (0.15 \text{ pour Analyse}) \end{aligned}$$

L'expression mathématique correspondante à cet aspect est la suivante :

$$\begin{aligned} \text{Prox_Exécution} = & [1 \times (\text{nombre d'actions Traitement}) + 0.50 \times (\text{nombre d'actions évaluation}) \\ & + 0.30 \times (\text{nombre d'actions décision}) + 0.15 \times (\text{nombre d'actions analyse}) + \\ & 0.15 \times (\text{nombre d'actions recherche})] / (\text{nombre total d'actions dans le plan d'action}) \end{aligned}$$

... (Eq. V.7)

III.3. Variables caractéristiques de la nature relationnelle

Les deux dernières variables caractéristiques concernent la description de la nature relationnelle associée à l'activité traitée. La nature relationnelle est définie à partir du type d'interactions transactionnelles, le rôle de l'acteur de l'activité dans ces transactions, le nombre de participants et leurs rôles respectifs dans les mêmes transactions.

III.3.1. Type de transaction

Nous avons défini dans le chapitre III trois formes d'entités interactionnelles transactionnelles, communication, coopération et coordination avec deux formes d'interactions coopératives : coopération par échanges informationnels et coopération par négociation. Nous posons comme hypothèse que l'effort relationnel diffère d'un type de transaction à un autre. Nous associons à chaque type un facteur de pondération comme pour les précédents cas :

$$(1 \text{ pour coopération par négociation}) > (0.50 \text{ pour coopération par échange}) > (0.10 \text{ pour communication})$$

L'expression finale de la variable "Type_Transaction" est la suivante :

$$\text{Type_Transaction} = [1 \times (\text{nombre de coopérations par négociation}) + 0.50 \times (\text{nombre de coopérations par échange}) + 0.10 \times (\text{nombre communications})] / (\text{nombre total de transactions durant l'activité})$$

... (Eq. V.8)

III.3.2. Nombre de participants

La dernière variable que nous nommons "Nbre_Participant" renseigne sur le nombre de participants dans les interactions relatives à l'activité en prenant compte des rapports hiérarchiques entre l'acteur de l'activité et les autres participants dans les transactions. Trois types de rapports hiérarchiques sont définis avec l'hypothèse que chaque type nécessite un niveau d'effort relationnel différent :

- Statut 1 (hiérarchie descendante) : le rôle de l'acteur de l'activité traitée est autoritaire par rapport à celui des autres participants aux transactions. En l'occurrence le rôle du premier est manager et celui des autres participants est acteur ou support.
- Statut 2 (hiérarchie ascendante) : cette forme est à l'inverse de la première, elle correspond au cas où le rapport d'autorité est en faveur des participants. En l'occurrence, le rôle de l'acteur de l'activité est "acteur" dans la transaction et celui des participants est "manager".

- Statut 3 (sans hiérarchie) : cette dernière forme est selon nous, moins exigeante sur l'effort relationnel, elle correspond au cas où l'acteur de l'activité et les participants ont le même rôle dans la transaction (acteur-acteur) ou (manager-manager).

Nous posons pour chaque rapport hiérarchique, une pondération qualifiant le niveau relationnel sur cet axe : (1 pour Statut 1) > (0.70 pour Statut 2) > (0.20 pour Statut 3)

L'expression finale du nombre de participant "Nbre_Participant" est la suivante:

$$\text{Nbre_Participant} = [1 \times (\text{nombre de participants au statut 1}) + 0.70 \times (\text{nombre de participants au statut 2}) + 0.20 \times (\text{nombre de participants au statut 3})] / (\text{nombre total de participants})$$

... (Eq. V.9)

III.3.3. Fréquence d'interaction avec une entité

La dernière catégorie concerne le nombre d'interactions de l'acteur avec une entité relativement aux autres entités concernées par l'activité. Cette variable (notée "Freq_Interaction") est donnée par l'équation suivante :

$$\text{Freq_Interaction} = (\text{nombre d'interactions entité cible}) / (\text{nombre total d'interactions})$$

... (Eq. V.10)

IV. LE MODULE DE TRAITEMENT FLOU

La structure du module de traitement flou est celle d'un système automatique à base de règles floues type Mamdani [Dronkov & al., 1993]. Un tel système comporte trois phases de traitement : fuzzification, moteur d'inférences et défuzzification. Une base de connaissance est définie en association avec chaque phase pour définir les fonctions d'appartenance et les règles d'inférence du système à traiter. Nous développerons dans la partie réservée à l'exemple d'application, un exemple détaillant le processus de traitement étape par étape.

IV.1. Fuzzification

La première étape du traitement consiste à associer à chacune des valeurs réelles en entrées (obtenues à partir de l'instanciation de l'une des équations), le degré d'appartenance par rapport aux valeurs floues correspondantes. Dans cette étape est définie aussi la base de "connaissances" comportant les différentes partitions (valeurs floues) et les fonctions d'appartenance associées à chaque variable linguistique.

Pour les variables caractéristiques de la situation, nous avons choisi des fonctions d'appartenance d'une forme trapézoïdale. Les valeurs réelles sur l'axe des abscisses ont été normalisées sur une échelle de 0 à 100 %. Sur l'axe des ordonnées, nous retrouvons les valeurs d'appartenance $\mu_A(x)$ variant sur $[0,1]$ où A correspond à la valeur floue de la variable et x à la valeur réelle de la variable calculée à partir de l'une des précédentes équations.

- Pour les variables linguistiques décrivant la complexité de la situation (selon l'objet "Comp_Obj", selon le nombre d'entités "Comp_entité", selon le nombre de contraintes "Comp_Contrainte" et selon le nombre d'actions "Comp_Action"), nous avons retenu trois valeurs floues standards : "simple", "relativement complexe" et "complexe". La forme des fonctions d'appartenance "Comp_Obj" est donnée dans la figure (V.69). Toutes les autres fonctions d'appartenance des autres variables linguistiques seront présentées en annexe VIII.

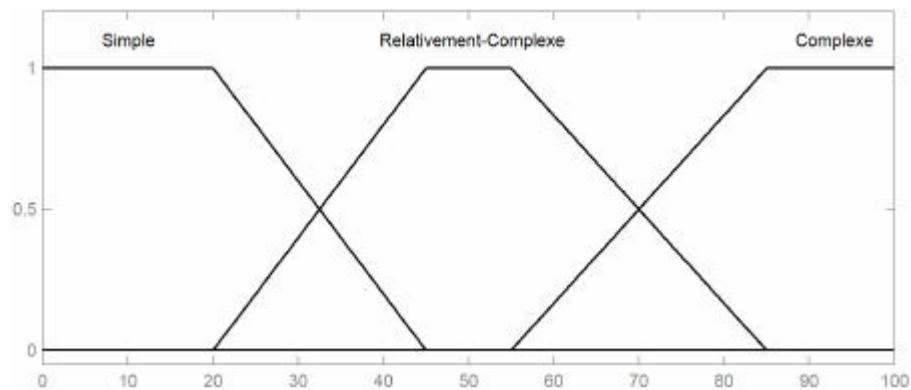


Figure V-69. Fonctions d'appartenance pour la variable "comp_Obj"

- Pour les variables descriptives de la nature de l'activité (proximité par rapport à l'aspect exécution "Prox_Exécution", proximité par rapport à l'aspect analyse "Prox_Analyse" et proximité par rapport à l'aspect décision "Prox_Décision"), nous avons choisi les valeurs floues : "différente", "relativement proche" et "proche" réparties sous la même forme trapézoïdale représentée en annexe VIII.
- Pour la variable descriptive de la nature principale des transactions "Type_transaction", nous avons défini les trois valeurs "Négociation", "Echange" et "Communication". Les fonctions d'appartenance ont aussi une forme trapézoïdale.
- Pour la variable descriptive du nombre de participants "Nbre_Participant", nous avons choisi les trois valeurs floues : faible, moyen et important. Ces partitions se déclinent sous une forme identique de fonctions d'appartenance trapézoïdales.
- Pour la variable descriptive de la fréquence d'interaction "Fréq_Interaction", nous avons défini une partition à deux valeurs floues : "rarement" et "souvent".

- Enfin, pour les variables descriptives de la signature de la compétence, nous avons défini une répartition en cinq valeurs floues (avec des fonctions d'appartenance trapézoïdales) : N.1, N.2 N.3 N.4 et N.5. Pour le niveau de maîtrise des connaissances techniques, nous avons défini les valeurs floues : notions de base, application, transposition et expertise. Sur l'axe des abscisses, on attribue à chaque composant de la compétence une note de 0 à 10.

IV.2. Moteur d'inférences

L'étape d'inférence est le cœur du module de traitement. Elle consiste à faire les correspondances (Entrées fuzzifiées – Sorties fuzzifiées) à partir des règles d'inférences de type IF-THEN. Les résultats des règles d'inférences seront obtenus en utilisant un ensemble d'opérateurs T-norme et S-norme, ils prennent la forme de fonction d'appartenance.

Dans la base de "connaissances" associée au moteur d'inférences, nous définissons les différentes règles d'inférences pour chaque combinaison "caractéristiques de situation – caractéristiques de compétence". Nous avons défini toutes les règles sous la forme :

*Si caract. situation 1 **ET** caract. situation 2 **ALORS** Niveau compétence associée est N*

Dans ce qui suit, nous présentons le principe de détermination des règles d'inférences. Chaque combinaison de règles est donnée sous forme de tableau. Chaque ligne du tableau correspond à une règle de la forme "SI Prémisses **ALORS** Conclusion". L'agrégation des différentes règles correspond à l'association des différentes lignes du tableau à l'aide de l'opérateur OU.

IV.2.1. Règles d'inférences pour les niveaux de connaissances techniques

La catégorie des connaissances techniques est représentée par une liste des différents savoirs relatifs à la manipulation des entités concernées. Deux variables caractéristiques de la situation sont considérées dans le moteur d'inférence pour définir le niveau de maîtrise associé à chaque entité. Il s'agit des variables concernant la proximité par rapport à l'aspect exécution ("Prox_Exécution") et la fréquence d'interactions avec les entités "Fréq_Interaction". Nous faisons l'hypothèse que le niveau de connaissance technique est d'autant plus important que la proximité par rapport à l'aspect exécution est faible et que la fréquence d'interaction est forte. Cette hypothèse est à la base de la formulation des règles d'inférences. Nous présentons ci-dessous le système d'inférences pour les connaissances techniques support. Les autres tableaux sont présentés en annexe VIII. Les lignes deux et trois du tableau V-7 signifient respectivement :

SI "prox_Exécution" est Différente ET "fréq_Interaction" est Rarement ALORS niveau connaissance technique support est Transposition,

OU

SI "prox_Exécution" est Relativement Proche ET "fréq_Interaction" est Souvent ALORS niveau savoir technique support est application,

PREMISSSES		CONCLUSION
Proximité Exécution	Fréquence Interaction	Niveau Connaissance Tech. Support
Différente	Souvent	Expertise
	Rarement	Transposition
Relativement Proche	Souvent	Transposition
	Rarement	Application
Proche	Souvent	Application
	Rarement	Notion de base

Tableau V-7. Règles d'inférence pour le "niveau de connaissances techniques support"

PREMISSSES		CONCLUSION
Proximité Analyse	Complexité objet	Niveau capacité d'analyse
Différente	Simple	N. 1
	Relativement complexe	N. 1
	Complexe	N. 2
Relativement Proche	Simple	N. 2
	Relativement complexe	N.3
	Complexe	N.4
Proche	Simple	N.4
	Relativement complexe	N. 5
	Complexe	N. 5

Tableau V-8. Règles d'inférence pour la capacité d'analyse

IV.2.2. Règles d'inférences pour la capacité d'analyse

La signature de la compétence associée sur l'axe analyse est dépendante de la nature de l'activité par rapport à sa proximité de l'axe analyse mais aussi, elle dépend de la complexité de l'objet sur lequel porte l'activité. L'hypothèse d'inférence est que l'effort d'analyse mis en œuvre dans l'activité (donc, la valeur de la signature de la compétence associée sur l'axe

analyse) est la plus élevée quand la valeur de la proximité par rapport à l'aspect analyse est maximale (proche). Elle est d'autant plus élevée que cette activité porte sur un objet complexe. Les règles d'inférences pour la signature sur l'axe Analyse sont représentées dans le tableau (V-8) ci-dessus. Les autres tableaux sont présentés en annexe VIII.

IV.2.3. Règles d'inférences pour la capacité d'organisation

La signature de la compétence associée sur l'axe organisation est proportionnellement dépendante de la complexité de la situation par rapport au nombre d'entités participantes à l'activité et au nombre d'actions présentes dans l'activité. L'hypothèse intuitive d'inférence est que l'effort d'organisation mis en œuvre durant l'activité (donc la valeur de la signature de la compétence associée sur l'axe organisation) est la plus élevée quand l'acteur de l'activité doit manipuler un nombre élevé d'entités ou doit réaliser un nombre d'actions important. Ce qui correspond à la valeur Complexe pour les deux variables d'entrée (annexe VIII).

IV.2.4. Règles d'inférences pour la capacité décisionnelle

La signature de la compétence associée sur l'axe décisionnel (capacité décisionnelle) est proportionnellement dépendante de la nature de l'activité par rapport à l'aspect décision et à la complexité de la situation par rapport à l'aspect contrainte dans l'activité. Notre hypothèse est que l'effort décisionnel mis en œuvre durant l'activité (donc la valeur de la signature de la compétence associée sur l'axe décisionnel) est la plus élevée quand la nature de l'activité est proche de l'aspect décision. Cette valeur sera d'autant plus élevée que l'acteur devra prendre ces décisions dans un milieu très contraint (annexe VIII).

IV.2.5. Règles d'inférences pour la capacité relationnelle

Le raisonnement est similaire pour définir la valeur de la signature de la compétence associée sur l'axe relationnel. Cette valeur est d'autant plus élevée que la nature de la transaction est complexe, et le nombre de participants sera grand (annexe VIII).

IV.2.6. Le calcul d'inférences

Pour le calcul des résultats du moteur d'inférences, plusieurs méthodes sont proposées dans la littérature associant un opérateur T-norme et S-norme différent à chaque partie du système de règles floues. Les plus courantes sont les suivantes (tableau V-9) :

METHODE	OPERATEUR		
	ET	OU	Prémisse ALORS conclusion
Max – Min	Min	Max	Min ($\mu_{\text{Prémisse}}$, $\mu_{\text{Conclusion}}$)
Max – Produit	Min	Max	Produit ($\mu_{\text{Prémisse}} \times \mu_{\text{Conclusion}}$)
Somme – Produit	Produit	Moyenne	Produit ($\mu_{\text{Prémisse}} \times \mu_{\text{Conclusion}}$)

Tableau V-9. Principales méthodes pour le calcul du moteur d'inférences

Pour notre approche, nous avons opté pour la méthode la plus fréquente, celle du Max-Min, dite aussi méthode de Mamdani. Cette méthode nous semble appropriée à notre besoin qui consiste à trouver la valeur **minimale** de la compétence qui a permis d'arriver au résultat validé comme satisfaisant de l'activité.

Le côté prémisse d'une règle d'inférence représente les causes, l'opération min permet de considérer tous les cas possibles par cette prémisse ayant comme effet le niveau N. De même, l'opération min associée à l'implication ALORS va traduire le rapport effet-résultat **minimum** correspondant et limiter l'influence de la règle sur le résultat global du système d'inférence.

Pour le calcul de la valeur finale, l'opérateur OU associe toutes les règles activées par l'instanciation. **Au moins** une des règles est donc prise en compte. Le résultat de chaque règle est représenté par une surface traduisant la pertinence du cas qu'elle représente par rapport au résultat global, la surface globale va prendre en compte l'influence la plus importante. Du point de vue compétence, si on prend la valeur maximale possible par la combinaison des règles, on a la valeur minimale de compétence garantissant le résultat décrit par la situation.

IV.3. Défuzzification

Le résultat du moteur d'inférence est obtenu sous une forme floue (fonction d'appartenance), l'étape de défuzzification comme son nom l'indique est l'étape inverse permettant le passage de la forme floue vers la valeur réelle (dans notre cas, une note "/10" de la compétence considérée). La méthode la plus utilisée est celle du centre de gravité qui consiste à calculer à l'aide de l'équation suivante, la valeur du centre de gravité X^* de la surface résultante de l'instanciation du système d'inférence. La projection de cette valeur sur l'axe des abscisses va nous donner la valeur estimée de la note du composant de la compétence.

$$X^* = [(\int X_r \mu_r(X_r) dX_r) / (\int \mu_r(X_r) dX_r)]$$

V. EXEMPLE D'APPLICATION

Dans ce dernier paragraphe, nous allons montrer comment décliner notre approche sur un exemple concret. Pour cela, nous allons caractériser les compétences associées à la tâche traitée dans le chapitre IV : "réaliser les plans" du processus de "conception technique". Les calculs sont faits avec le toolbox fuzzy du logiciel Matlab.

V.1. Capacités opératoires et règles de conduite

V.1.1. Signature sur l'axe analyse

Pour déterminer la signature de la compétence sur l'axe analyse nous avons besoin des valeurs des deux variables caractéristiques : "proximité analyse" et "complexité objet".

○ Valeur de "proximité analyse"

Le nombre total d'action dans le plan d'action de l'activité de réalisation des plans est de 9 réparties comme suit :

- Le nombre d'actions de type traitement/exécution est 4
- Le nombre d'actions de type recherche : génération est 2
- Le nombre d'actions de type choix/décision est 2
- Le nombre d'actions de type mesure/évaluation est 1

La valeur de la variable proximité analyse :

$$\text{Prox_Analyse} = [1 \times (0) + 0.90 \times (2) + 0.60 \times (2) + 0.50 \times (1) + 0.15 \times (4)] / 9$$

$$\text{Prox_Analyse} = 0.45 = 45 \% ;$$

○ Valeur de "complexité de l'objet"

La tâche de réalisation des plans consiste principalement à fixer la quincaillerie qui va composer le meuble et à préciser la forme définitive du meuble en fonction de : la quincaillerie choisie, les points d'assemblage et les cotations du meuble.

Les quatre vues du produit ont été abordées dans cette tâche. Les vues structurelle et paramétrique ont été les vues les plus abordées. La vue structurelle pour la définition de la quincaillerie et les points d'assemblage. La vue paramétrique pour les cotations du meuble et des points d'assemblage. La vue comportementale n'a pas été beaucoup sollicitée dans cette tâche sauf pour le calcul de l'épaisseur de la table supérieure du meuble. Une revue des différentes fonctions du meuble a été effectuée dans le choix de la quincaillerie mais aucune modification n'a été faite sur ces fonctions durant cette tâche.

Les proportions des différents points de vue fonctionnel, comportemental, structurel et paramétrique dans l'activité traitées sont respectivement : 5 %, 5 %, 40 % et 50 %.

$$\text{Comp_Objet} = [1 \times (5) + 0.70 \times (5) + 0.60 \times (40) + 0.20 \times (50)] / (100)$$

$$\text{Comp_Objet} = 0.42 = 42 \, \%.$$

○ **Le calcul des inférences : valeur estimée de la capacité d'analyse**

La projection des valeurs de proximité analyse est 1 sur l'ensemble "relativement proche". Celle de la complexité objet est 0.26 sur l'ensemble "simple" et 0.74 sur l'ensemble "relativement complexe".

Deux règles sont donc appelées dans ce cas. Il s'agit des règles 4 et 5 du tableau A-20 en annexe VIII :

SI prox_Analyse est relativement proche et Comp_Obj est simple
ALORS niveau analyse est N2

SI prox_Analyse est relativement proche et Comp_Obj est relativement complexe
ALORS niveau analyse est N3

La figure (V-70) montre le principe général d'un système de calcul d'inférences. Après la défuzzification, la valeur de la signature sur l'axe analyse est égale à : **4.7 /10**

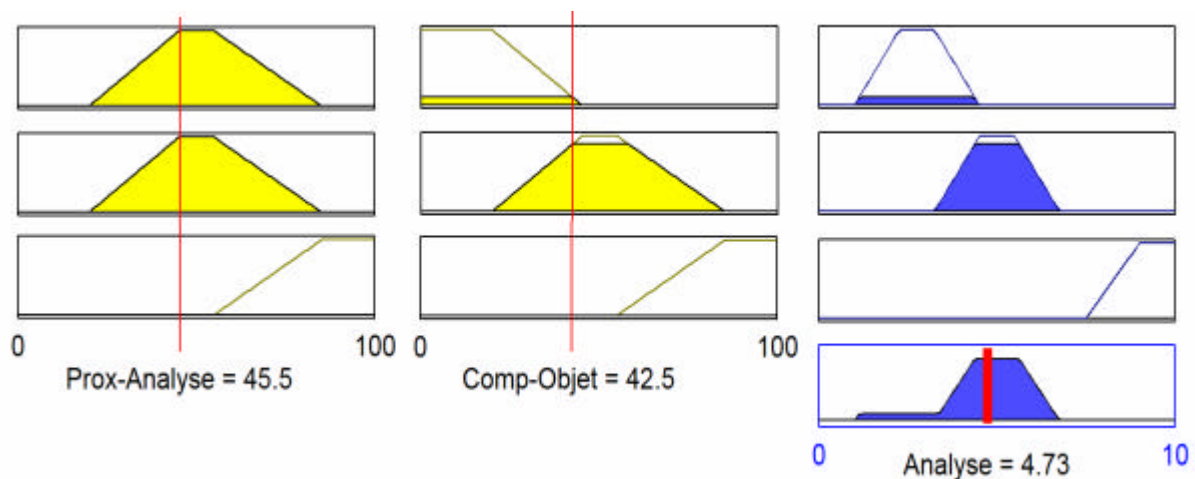


Figure V-70. Exemple du mécanisme d'inférences

V.1.2. Signature sur l'axe organisation

La signature sur l'axe organisation est calculée à partir des variables "complexité action" et "complexité entité" dans l'activité par rapport au processus correspondant.

○ **Valeur de la complexité par rapport aux actions**

- Pour la complexité par rapport aux actions, nous avons les données suivantes :
 - Le nombre d'actions élémentaires de l'activité étudiée est de 9.
 - Le nombre d'actions enregistrées pour les autres activités est respectivement : 5 ; 2 ; 2 ; 3 ; 3. (voir annexe VI)
- La moyenne des actions par activité $Moy_A = 4$.
- La distance maximale entre le nombre d'actions et la moyenne est $D_{Amax} = 9 - 4 = 5$. Cette différence correspond à la différence entre le nombre d'actions dans l'activité étudiée et la moyenne D_{Acible} , soit 5.

La valeur de la complexité : **Comp_Action** = $D_{Acible} / D_{Amax} = 1 = 100 \%$.

○ **Valeur de complexité par rapport aux entités**

- De la même manière nous avons les données suivantes sur les entités manipulées :
 - 8 entités principales par l'activité étudiée : 1 objet, 3 contraintes et 3 supports.
 - La valeur du nombre d'entités dans l'activité traitée est :
$$NE_{cible} = 1 \times (1) + 0.80 \times (3) + 0.60 \times (3) = 5.2$$
 - Les valeurs des autres nombres d'entités sont 8.2, 3.6, 1.6, 3 et 3 pour les activités : 1, 2, 4, 5 et 6 respectivement. (voir annexe VI)
- La moyenne des entités manipulées par activité est $Moy_E = 4.1$
- La différence entre le nombre d'entités dans l'activité étudiée et la moyenne d'entités est $DE_{cible} = 5.2 - 4.1 = 1.1$; La différence maximale est $DE_{max} = 4.2$

La valeur de la complexité : **Comp_Entité** = $DE_{cible} / DE_{max} = 0.26 = 26 \%$

○ **Le calcul d'inférences : valeur estimée de la capacité organisationnelle**

La projection des valeurs de **Comp_Action** et **Comp_Entité** fait appel aux deux dernières règles (8 et 9) du tableau A-21 en annexe VIII. La valeur de la signature sur l'axe Organisation est égale à **7.4 /10**

V.1.3. Signature sur l'axe décisionnel

La signature sur l'axe décisionnel fait intervenir les variables "proximité décision" et "complexité par rapport aux contraintes".

- **La valeur de proximité décision** $\text{Prox_Décision} = [1x(2) + 0.90x(1) + 0.50x(2) + 0.30x(0) + 0.20x(4)] / 9$. **Prox_Décision = 0.52 = 52 %**.
- **La valeur de complexité selon les contraintes : Comp_Contrainte = 0.57 = 57 %**
 - Nombre total de contraintes : 10 ; Nombre de contrainte dans l'activité traitée : 3 ;
 - Moyenne de contraintes par activités : 1.66 ;
 - Distance max : 2.33 ; Distance dans l'activité traitée : 1.33 ;
- **Le calcul d'inférences : valeur estimée de la capacité décisionnelle**

La projection des valeurs de Prox_Décision et Comp_Contraintes fait appel aux deux règles (5 et 6) du tableau A-22 en annexe VIII. La valeur de la signature sur l'axe Décisionnel est égale à : **6.6 /10**

V.1.4. Signature sur l'axe relationnel

La signature sur l'axe relationnel fait intervenir les variables "type de transaction" et "nombre de participants".

- **La valeur du type de transaction** $\text{Type transaction} = [1x(1) + 0.50x(2) + 0.10x(2)] / 5$
Type_Transaction = 0.44 = 44 %
- **La valeur du nombre des participants : Nbre_Participants = 1 = 100%**
 - Nombre total de participants : 6 ; Nombre de participants statut 1: 0 ; Nombre de participants statut 2: 2 (les chefs de service) ; Nombre de participants statut 3: 4

La valeur du nombre de participants $\text{Nbre_Participants} = [1x(0) + 0.70x(2) + 0.20x(4)] / 6$

Nbre_Participants = 0.36 = 36 %

- **Le calcul d'inférences : valeur estimée de la capacité décisionnelle**

La projection des valeurs de Type_Transaction et Nbre_Participants fait appel aux deux règles (4 et 5) du tableau A-23 en annexe VIII. La valeur de la signature sur l'axe Décisionnel est égale à : **4.6 /10**

Les valeurs estimées des capacités et des règles de conduite pour notre exemple sont représentées par la signature donnée sur la figure (V-71). Les cercles permettent de faciliter la lecture par des appréciations qualitatives. Ainsi la lecture de ce schéma signifie que la réalisation de l'activité "réaliser les plans" a nécessité une capacité d'analyse et une capacité relationnelle dans la moyenne, une capacité de décision juste au dessus de la moyenne et une capacité d'organisation importante.

Cette lecture signifie aussi qu'on peut reconnaître, par les résultats, à l'acteur qui a réalisé l'activité, qu'il peut déployer un niveau semblable de ces capacités dans ce type de missions et situations. Ce qui ne correspond pas forcément aux niveaux de capacités limites (minimales) possédées par cet acteur ni à une caractérisation des processus cognitifs propres à cet acteur.

Dit autrement, l'interprétation de ces valeurs doit être une interprétation relative au même type de mission et de situation, et non comme reconnaissance générique de la compétence de l'acteur pour toute forme de mission.

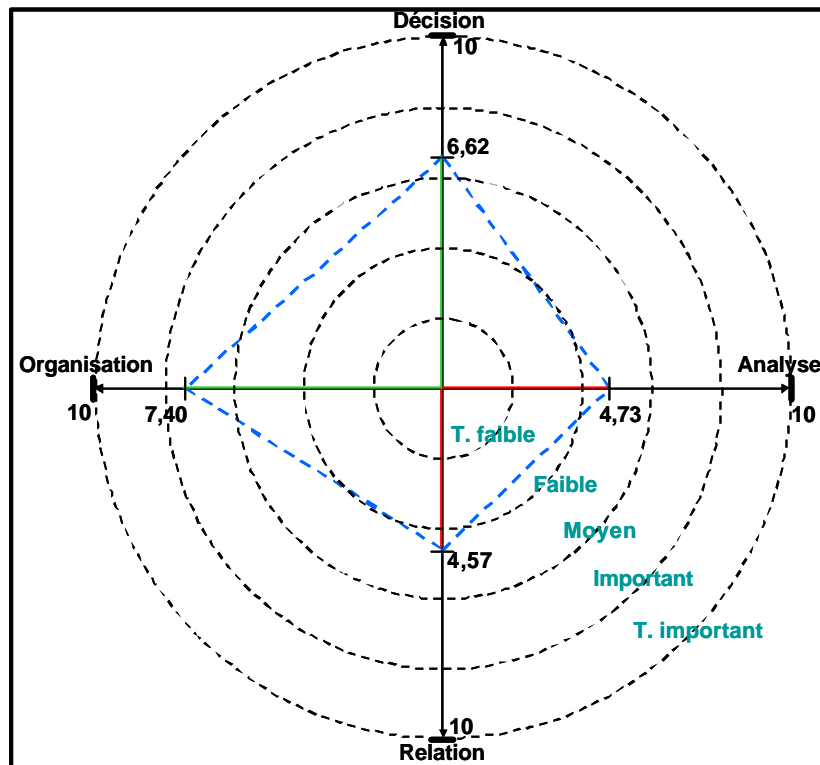


Figure V-71. Signature de la compétence associée à l'activité "réalisation des plans"

V.2. Niveaux de connaissances techniques

Pour la définition des niveaux de connaissances techniques, nous avons besoin des valeurs des variables caractéristiques de la proximité par rapport à l'aspect exécution et de la fréquence d'interactions. L'objet principal de l'activité est les plans de cotations d'un meuble TV. Les acteurs ont utilisé trois supports : un logiciel CAO, un logiciel de traitement spécifique à l'entreprise et le manuel de références de quincaillerie de l'entreprise. Les fréquences d'interactions avec ces entités support sont estimées à 75 %, 40 % et 25 % respectivement (la somme est différente de 100% à cause des utilisations simultanées). La fréquence d'interactions avec les plans est de 80 % (durant l'interaction avec l'outil CAO).

La valeur de proximité par rapport à l'aspect exécution est : $\text{Prox_Exécution} = [1 \times (4) + 0.50 \times (1) + 0.30 \times (2) + 0.15 \times (0) + 0.15 \times (2)] / 9$. **Prox_Exécution = 0.60 = 60 %.**

Les valeurs de niveaux de maîtrise des connaissances techniques estimées dans l'activité après étape de traitement flou sont données dans le tableau (V-10) :

Connaissances : Connaitre le(s) ...	Notes/10	Commentaire
Logiciel CAO	5,7	Transposition
Logiciel de traitement des solutions techniques	4.4	Application
Appellations techniques du manuel de quincaillerie	3.8	Application
Principes, règles et méthodes du dessin technique	6.0	Transposition

Tableau V-10. Niveaux des connaissances associées à l'activité "réalisation des plans"

VI. CONCLUSION

Nous venons de proposer une nouvelle approche pour aider les managers à définir les structures de compétences de l'entreprise selon un cadre unifié. Les résultats de la démarche peuvent être exploités particulièrement pour des problématiques d'affectation. La principale propriété de la démarche est son articulation avec les notions de traçabilité et de capitalisation des connaissances. L'intérêt d'une telle articulation est d'améliorer la précision lors de la construction de référentiels en se basant non pas sur des estimations subjectives d'un acteur humain (le manager) mais sur une évaluation automatique de données réelles obtenues à partir d'une trace capitalisée. Ceci ouvre les portes à de nouvelles applications pour les systèmes de capitalisation de connaissances autre que celle de la réutilisation pour l'aide à la conception technique.

Notre objectif de départ est de vérifier les hypothèses théoriques, conséquences du modèle du schème, sur la relation entre la composition d'une compétence et la situation de travail. Nous avons dans ce sens identifié et retenue trois familles de caractéristiques principales de la situation intervenant dans la définition d'une compétence : complexité de la situation, nature de l'activité et nature relationnelle. L'outil développé sur la base de ces hypothèses a donné des résultats qui nous semblent cohérents avec les démarches "manuelles" de l'expert manager. Ce qui nous permet d'affirmer qu'il y a une réelle possibilité d'outiller ces modèles.

En effet, les qualités offertes par les systèmes de traitement flou nous ont permis d'exploiter la relation (situation-compétence) à des fins de caractérisation. Ce type de systèmes s'adapte bien aux cas où il est question de manipuler des données qualitatives et subjectives.

Les résultats obtenus forment donc un point de départ pour de nouvelles applications similaires. Cependant, les choix des variables caractéristiques et les propriétés du système flou ne sont pas figés et nous ne prétendons pas qu'ils possèdent un caractère générique pour tout type d'application en entreprise. Plusieurs adaptations peuvent être envisagées sur l'approche sans pour autant remettre en cause le cœur de la démarche. Cela sera développé dans les perspectives.

Ainsi, par exemple, l'ensemble des règles d'inférences n'est pas exhaustif. D'autres règles peuvent être envisagées par l'introduction de nouvelles variables linguistiques pour refléter d'autres caractéristiques de la situation jugées pertinentes. D'autres formulations mathématiques peuvent être introduites pour évaluer les valeurs des variables caractéristiques. L'évaluation mathématique de certaines variables peut aussi être complétée par un jugement d'un expert afin d'améliorer la précision et la fiabilité des valeurs. Le choix du référent (dans notre cas, le processus) peut être remplacé par d'autres référents (moyenne sur plusieurs processus de même nature, une valeur moyenne estimée et considérée comme idéale par un expert, ...).

Les modèles proposés ont été instanciés pour la caractérisation d'une compétence à partir de l'analyse d'une seule activité. Il est judicieux de généraliser cette analyse sur tout l'historique des activités similaires réalisées dans le passé. Ceci permettra d'améliorer la précision des valeurs caractéristiques de la situation et, par conséquent, d'augmenter la robustesse de la méthode. Pour cela, il est nécessaire de compléter les premières étapes par :

- Identifier les activités similaires dans l'historique du système de traçabilité par des algorithmes de mesure de similarité. Les concepts de tâches génériques et de classe de situations proposés dans nos modèles doivent être les noyaux de ces algorithmes.
- Calculer les valeurs des variables caractéristiques pour toute situation jugée similaire.
- Calculer les valeurs des variables caractéristiques agrégées de toutes les situations par une fonction d'agrégation adéquate (moyenne μ , ...).
- Appliquer la méthode sur les variables caractéristiques agrégées.

Enfin, nous rappelons que la méthode, bien que basée sur un modèle théorique et cognitif, n'a pas la prétention d'identifier des traits de personnalité, ou de caractériser des processus cognitifs. Il s'agit plutôt de caractériser les capacités déployées durant l'activité en fonction des éléments tangibles de la situation.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

ET PERSPECTIVES

Ce travail de thèse nous a permis d'appréhender et de proposer des contributions dans plusieurs domaines scientifiques : la conception, la gestion des connaissances et le pilotage des compétences.

Le premier chapitre de ce mémoire a concerné une étude bibliographique du domaine de la conception et plus précisément la traçabilité des activités dans ce domaine. La revue de littérature sur l'activité de conception nous a permis d'identifier son caractère complexe en raison de ses propriétés cognitive, collaborative, incertaine et décisionnelle. L'activité de conception procède à une construction progressive à la fois des prescriptions et des résultats. Ce processus manipule et génère de nombreuses connaissances. Il nécessite la mobilisation et la production de compétences variées. Nous avons ensuite structuré les différents thèmes de recherche visant à améliorer la performance.

La deuxième partie du premier chapitre a été orientée vers un état de l'art sur les méthodes dédiées à la traçabilité en conception. Nous avons classifié (sans exhaustivité) les travaux de ce domaine en trois catégories principales s'intéressant respectivement : aux modèles produit, aux modèles processus et aux justificatifs de décisions. En conclusion de ce chapitre, le positionnement de notre contribution a été présenté comme une articulation entre deux thèmes de recherche : la traçabilité des activités de conception et le pilotage des compétences dont les retombées sont aujourd'hui importantes en conception.

Le deuxième chapitre a présenté un état de l'art sur le concept de compétence, sa définition, ses caractéristiques, son articulation avec la connaissance et son importance pour maîtriser la performance. Dans ce cadre, le modèle théorique du schème présente un intérêt particulier pour comprendre la compétence et les processus qui régissent son fonctionnement. Conceptuellement, la compétence est intrinsèquement liée aux notions de mission à laquelle elle est référée, d'activité pour laquelle elle est mobilisée, d'acteur qui la mobilise et de situation de travail dans laquelle est mobilisée cette compétence.

Il est donc important de souligner ici que pour parler de manipulation de connaissances ou de mise en œuvre de compétences, il faut nécessairement avoir identifié une activité, ayant une finalité, comme le lieu de cette mobilisation de connaissances et de compétences. Pour parler d'activité, il faut aussi déterminer clairement l'acteur, détenteur de la connaissance et mobilisant la compétence, qui agit pour produire un résultat attendu dans une situation donnée.

Dans ce sens, un dispositif efficace de pilotage des compétences nécessite l'intégration de toutes ces notions, et en particulier la situation de travail.

Nous avons détaillé dans la deuxième partie du chapitre II, certains travaux dédiés à l'aide au pilotage des compétences dans une entreprise. Nous avons identifié dans ce cadre cinq catégories de travaux : valorisation et identification des compétences clés, intégration des compétences dans l'évaluation de performance, l'allocation des compétences et team building, le développement de supports informatiques, la caractérisation des compétences.

Parmi ces travaux, la caractérisation des compétences nous a semblé un domaine propice à des contributions formelles pouvant avoir un impact sur les autres axes de pilotage. Nous rappelons les raisons qui ont justifié cette orientation :

- La caractérisation des compétences apparaît comme l'élément de base des autres axes de pilotage. La majorité des travaux recensés dans la littérature utilise une caractérisation des compétences en termes de composants et/ ou niveau de maîtrise.
- Malgré l'importance de l'étape de caractérisation dans le pilotage des compétences, peu de précision est apportée sur la manière avec laquelle sont déterminées ces caractéristiques. Peu de contributions se sont intéressées à des approches formelles. Les méthodes les plus utilisées dans les entreprises restent l'entretien et l'observation des comportements en situation de travail. L'évaluation reste souvent subjective sans prise en compte de trace concrète de l'activité.
- On constate une évolution forte des compétences en conception liée aux évolutions des besoins, des méthodes, des outils, des technologies et des organisations. Les référentiels de compétences doivent être mis à jour régulièrement pour suivre ces évolutions.
- Nous avons donné un rôle central à l'analyse des situations de travail pour la caractérisation des compétences et les possibilités offertes par les systèmes de traçabilité, pour représenter ces situations.

Suivant cette logique, nous avons structuré notre contribution sur l'axe traçabilité en deux chapitres.

Dans le chapitre III, nous avons proposé un cadre conceptuel pour décrire les situations de conception d'une façon unifiée à travers les concepts d'entités, d'entités interactionnelles et de rôles spécifiques. Comme pour les autres concepts clés de notre travail, à savoir la conception et la compétence, nous avons choisi de relever les caractéristiques du concept de situation qui font consensus dans la littérature plutôt que de se limiter à une liste de définitions parfois contradictoires. Nous avons proposé une typologie des différents rôles spécifiques comme une adaptation systémique du concept de rôle, utilisé dans les sciences de l'organisation, pour traduire la contribution des entités dans les interactions de la situation. Nous avons aussi pris

en compte dans notre cadre conceptuel la spécificité du domaine de conception concernant la distinction nécessaire entre l'espace (objectifs/prescriptions) et l'espace (résultats/réalisation).

Dans le chapitre IV, nous avons proposé des modèles génériques pour la traçabilité en conception. Ces modèles UML sont une concrétisation de notre cadre conceptuel. Ils sont intentionnellement orientés vers les aspects organisationnels, opérationnels et collaboratifs du projet, plutôt que sur les aspects techniques. Cependant, même si les modèles visent à structurer les connaissances de la situation dans une finalité de pilotage des compétences, ils peuvent être utilisés pour des fins de réutilisation technique. En effet, le principal avantage offert par notre modèle générique est son caractère générique et ouvert, pouvant être adapté à plusieurs types de situations.

Notre contribution sur l'axe de caractérisation des compétences a été présentée dans le dernier chapitre de cette thèse. La méthode proposée repose sur un traitement de données tracées durant l'activité afin d'offrir plus d'objectivité dans l'estimation des caractéristiques d'une situation. La logique floue nous a permis par la suite de modéliser le jugement de l'expert qui se base sur ces caractéristiques pour définir les compétences associées.

Nous avons construit la première étape d'un système d'aide à la définition des référentiels de compétences. Le principal avantage d'une telle approche serait à terme d'améliorer la précision et la fiabilité des informations contenues dans les référentiels des entreprises et d'ajouter un caractère "dynamique" à ces référentiels afin qu'ils prennent, par des mises à jour régulières, en compte les développements technologiques et les évolutions permanentes sur les méthodes de travail, sur les connaissances techniques, etc.

Néanmoins, nous sommes conscients que les apports de ce travail sont à consolider et que des améliorations doivent être envisagées pour l'applicabilité de la méthode. Notre première application en milieu industriel nous a permis de confirmer la validité du "principe de solution" pour résoudre ce type de problématique. D'autres applications sont à prévoir pour confirmer la maturité de nos concepts.

Certaines limites de ce travail peuvent être liées à la complexité de la phase d'extraction des informations dans le cas où la granularité demandée est trop élevée. L'efficacité du module de traçabilité repose sur la motivation du concepteur à renseigner les informations décrivant son activité. Certains facteurs peuvent le démotiver : la durée de la saisie, la crainte que ces informations soient utilisées pour le contrôler, l'incompréhension de la modélisation. Une façon d'inciter ce concepteur à adopter la démarche serait d'intégrer les modèles dans les systèmes informatiques d'utilisation quotidienne. Ces outils peuvent aussi lui offrir l'opportunité de pouvoir partager son expérience avec d'autres, d'identifier les meilleures pratiques pour améliorer sa performance (réutilisation des connaissances) et de prouver qu'il est compétent (atteinte des objectifs, respect de contraintes) ...

L'efficacité du module de caractérisation dépend de la fiabilité des informations renseignées, de la pertinence des règles d'inférence (traitements), de la compréhension des résultats par son utilisateur. Il y aura donc un éventuel besoin d'adapter les variables linguistiques, les référents utilisés ou le cœur des règles d'inférences, afin d'intégrer certaines spécificités non prévues dans cette première approche. Il est utile de compléter l'approche par un algorithme supplémentaire afin d'intégrer l'historique de toutes les activités similaires dans la caractérisation de la situation.

En pratique, la démarche compétences préconise que chaque entreprise adapte, après un dialogue social entre managers et collaborateurs, le concept de compétence, la typologie de ses ressources et les niveaux de maîtrise. Le collaborateur doit être également responsable de la valorisation et du développement de ses compétences.

Ce travail offre plusieurs perspectives :

- Développer une plateforme informatique supportant les différentes phases de la méthode (traçabilité et caractérisation).
- Etendre les modèles de la situation pour obtenir une traçabilité des activités à la fois de conception technique et de pilotage.
- Intégrer la méthode dans les approches émergentes de valorisation des compétences (cf. chapitre III §III-1) et d'évaluation de performance (cf. chapitre II §III-2).
- Améliorer les approches d'affectation et de team building (cf. chapitre III §III-3) par une caractérisation des compétences plus appropriée.

L'utilisation combinée d'autres outils de l'IA peut donner des résultats intéressants. Par exemple, les "rough sets" permettent une meilleure prise en compte de l'avis de l'expert. Les systèmes de raisonnement à partir de cas ("RàPC", "Case Based Reasoning") sont des outils qui nous semblent adaptés pour les étapes futures de la méthodologie lors de l'intégration des données de l'historique ou dans la résolution de problèmes d'affectation.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [Acuna &al., 2004] Acuna S.T., Juristo N., "Assigning people to roles in software projects", Software Practice and Experience, N°34-2004, pp 675-696.
- [AFNOR 2002] "Pilotage des processus", recueil de normes qualité, Afnor 2002.
- [Ahmad &al., 2003] Ahmad S., Schroeder R.G., "The impact of human resource management practices on operational performance: recognizing country and industry differences", Journal of Operational Management, Vol. 21, 2003, pp 19-43.
- [Aissaoui &al., 2003] Aissaoui G., Genest D., Loiseau C., "Cognitive Map of Conceptual Graphs: a Graphical Model to Help for Decision", Proceedings of the 11th International Conference on Conceptual Structures (ICCS'2003), Lecture Notes in Artificial Intelligence N° 2746, Springer, 2003, pp 337-350.
- [Andreasen 1991] Andreasen M.M., "The theory of domains", Workshop on understanding function and function to form evolution, Cambridge University, UK 1991.
- [Araujo &al., 2004] Araujo, R.M., Brézillon, P., Borges, M.R.S., Rosa, M.G.P.: Context Models for managing collaborative software development knowledge. KI2004: Workshop on Modeling and Retrieval of Context, Vol. 114 Germany 2004.
- [Athey &al., 1999] Athey T.R., Orth M.S., "Emerging Competency Methods for the Future", Human Resource Management, New York, vol. 38, (03), 1999, pp 215-225.
- [Aubert &al. 1997] Aubert N., Gruère J., Laroche H., Michel S., "Management: Aspects humains et organisationnels", presse universitaire de France, 1997.
- [Aversa &al., 2002] Aversa F., Gronda E., Pizzuti S., Aragno, "A Fuzzy Logic Approach to Decision Support in Medicine", SCI 2002, Orlando, USA, 2002.
- [Axelrod, 1976] Axelrod R., "Structure of decision: the cognitive maps of political elites", Princeton University Press, 1976.
- [Barthès &al., 1999] Barthès J.P., Dieng R., Kassel G., "Mémoire d'entreprise", paru dans le bulletin de l'Association Française pour l'Intelligence Artificielle, n°36, janvier 1999. <http://www.afia.polytechnique.fr>
- [Bekhti 2003] Bekhti S., "DypKM: Un processus dynamique de définition et de réutilisation des mémoires des projets", Thèse de Doctorat, Université de Technologie de Troyes, décembre 2003.

- [Belkadi & al., 2004a] Belkadi F., Bonjour E., Dulmet M., "Proposition of a Situation Model in View to Improve collaborative design", INCOM'04, 11th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Brazil 5-7 April 2004.
- [Belkadi & al., 2004b] Belkadi F., Bonjour E., Dulmet M., "Démarche de modélisation d'une situation de conception collaborative", Document numérique, Vol 8-n° 1, 2004 (Coopération et organisation numérique), éd. Hermès Paris, pp 93-106.
- [Belkadi & al., 2005a] Belkadi F., Bonjour E., Dulmet M., "Vers une approche de traçabilité de mémoire de projet en conception : démarche conceptuelle", 6^{ème} Congrès de Génie Industriel, GI'2005. Besançon du 7 au 10 juin 2005.
- [Belkadi & al., 2005b] Belkadi F., Bonjour E., Dulmet M., "Contribution to the development of a project memory: A new approach of traceability including the organization activity view", The 9th World Multi-Conference on Systemic, Cybernetics and Informatics, MWCSCI'2005 (IEEE) July 10-13, 2005 - Orlando, USA.
- [Belkadi & al., 2005c] Belkadi F., Bonjour E., Dulmet M., "Capitalization approach of the design situation based on the interaction concept and the cognitive Organisation view", The 12th Annual European Concurrent Engineering Conference, ECEC'2005 11-13 April 2005 - IRIT, Université Paul Sabatier, Toulouse.
- [Belkadi & al., 2005d] Belkadi F., Bonjour E., Dulmet M., "A Model of the Work – Situation in order to Improve Traceability Process In Collaborative Design", 9th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design CSCWD'2005 (IEEE), 24 au 26 mai 2005, Coventry, UK.
- [Belkadi & al., 2006a] Belkadi F., Bonjour E., Dulmet M., "A Fuzzy Approach for Competency Characterisation Based on a Work Situation Analysis", 9th IFAC Symposium on Automated Systems based on Human Skills, ASBoHS'06, Nancy, 22-24 may 2006.
- [Belkadi & al., 2006b] Belkadi F., Bonjour E., Dulmet M., "Building a project memory for competency characterization"; Computers in industry, Special issue: Competence management in industrial process, To appear in 2006.
- [Belkadi & al., 2006c] Belkadi F., Bonjour E., Dulmet M., "Modelling Framework of a Traceability System to Improve Knowledge Sharing and Collaborative Design", in W. Shen et al. (Eds.): CSCW in Design, Lecture Notes in Computer Science, LNCS, vol.3865, Springer-Verlag, Berlin 2006, pp. 355-364.
- [Belloy 1994] Belloy P., "Intégration de connaissances métier dans la conception : un modèle pour les pièces mécaniques, application à l'usinage et à l'estampage", Thèse de doctorat, Université J. Fourier, Grenoble I, 1994.
- [Bennour 2004] Bennour M., "Contribution à la Modélisation et à l'Affectation des Ressources Humaines dans les Processus", Thèse de doctorat en Systèmes Automatiques et Microélectroniques, Université de Montpellier 2004.
- [Bernard, 2000] Bernard A. "Modèle et approches pour la conception et la production intégrée", Journal Européen des Systèmes Automatisés, JESA, N°34, 2000, pp 163-193.

- [Bescos &al., 1995] Bescos P. L., Dobler P., Mendoza C., Naulleau G., "Contrôle de gestion et Management", Éd. Montchrestien, Collection Entreprendre, Guide des techniques et de la décision, Paris, 1995.
- [Bhaskar &al., 1997] Bhaskar K., Srinivasan G., "Static and dynamic operator allocation problem in cellular manufacturing systems", International Journal of Production Research, Vol. 35, N° 12, 1997, pp 3467-3481.
- [Bigand &al., 2005] Bigand M., Mekhilef M., Ben Sta H., Bourey J-P., "Traçabilité des justifications de décisions en conception de produit", 6^{ème} congrès international de génie industriel, Besançon, 7-10 juin 2005.
- [Bitard 2001] Bitard P., "Pour une économie des T.I.C. Une approche conventionnaliste de l'appropriation des T.I.C. en conception automobile", thèse de doctorat, Université de Bordeaux IV, 2001.
- [Blanco &al., 2002] Blanco E., Boujut J-F., Degrave A., Charpentier P, Ris G., Bennis F., Martin F-O., Petiot J-F., Deniaud S., Garro O., Micaëlli J-P., "Une expérience collective à distance", Mécanique & Industrie, N°3, 2002, pp 153-161.
- [Blanco, 1998] Blanco E., "L'émergence du produit dans la conception distribuée, vers de nouveaux modes de rationalisation dans la conception de systèmes mécaniques", Thèse de doctorat, INP de Grenoble, Décembre 1998.
- [Bloom &al., 1956] Bloom B.S., Krathwohl D.R., "Taxonomy of Educational Objectives: The classification of Educational goals, Handbook I: cognitive Domain". Longmans, New York, USA, 1956.
- [Bonjour &al. 2002] Bonjour E., Dulmet M., Lhote F., "An internal modeling of competency, based on a systemic approach, with socio-technical systems management in view" Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, SMC'2002, 6-9 octobre 2002, Hammamet, Tunisie.
- [Bonjour &al., 2001] Bonjour E., Dulmet M., "Modèle de caractérisation interne des compétences mises en œuvre dans les entreprises", Congrès génie industriel, Marseille, Juin 2001.
- [Bonjour &al., 2004] Bonjour E., Dulmet M., "Modèle cognitif d'une compétence: Application à l'activité de conception", CIFA'04, Conférence Internationale Francophone d'Automatique, Douz, Tunisia, november 22-24, 2004 .
- [Bonjour &al., 2005b] Bonjour E., Micaëlli J-M., Dulmet M., "Modélisation récursive des compétences d'acteurs collectifs en conception intégrée", 5^{ème} congrès de génie industriel, Besançon 7 – 10 juin 2005.
- [Bonjour &al., 2006] Bonjour E., Dulmet M., "Pilotage des activités de conception par l'Ingénierie Système", in Ingénierie de la conception et cycle de vie du produit, sous la direction de Roucoules L., éd. Hermès, janvier 2006.
- [Booch, 1996] Booch G., "Object solutions", éd. Addison-Welley, 1996.
- [Bouchard &al., 1997] Bouchard H., Tollenaere M., "Les SGDT : concepts fondamentaux et approche didactique", 2^{ème} Congrès international de Génie Industriel, Albi (France), 3 - 5 septembre 1997.

- [Boucher &al., 2003a] Boucher X., Harzallah M., Vernadat F., "Articulation entre compétences et connaissances en génie industriel", congrès International de Génie Industriel, Québec, Canada, octobre 2003.
- [Boucher &al., 2003b] Boucher X., Brulat P., "Vers l'intégration des compétences dans le pilotage des performances de l'entreprise", Journal Européen des Systèmes Automatisés, JESA, vol. 37, N° 3, 2003, pp 363-390.
- [Boucher &al., 2006] Boucher X., Bonjour E., Grabot B., "Formalisation and use of competencies for industrial performance optimisation: a survey" Computers in industry, Special issue: Competence management in industrial process, To appear in 2006.
- [Boucher, 1999] Boucher X., "Contribution méthodologique pour la gestion de filières métiers dans un contexte d'Ingénierie Concourante", Thèse de doctorat, Université d'Aix, Marseille III, Septembre 1999.
- [Boujut &al., 2002] Boujut, JF., Laureillard, P. "A co-operation framework for product-process integration in engineering design", Design Studies, Vol. 23, 2002, 497-513.
- [Boujut, 2000] Boujut J.F., "Enjeux et formes des pratiques coopératives dans la conception", PROSPER, Ecole des mines de Paris, 17-02-2000.
- [Bourland &al., 1994] Bourland K. E., Carl L. K., "Parallel-Machine sheduling with fractional operator requirement", IIE Transactions, Vol. 26, N° 05, 1994, pp 56-65.
- [Brézillon &al., 1999] Brézillon P., Pomerol J.C., "Contextual knowledge sharing and cooperation in intelligent assistant systems" le travail humain, V.62-3, 1999, pp 233-246.
- [Brézillon &al., 2002] Brézillon P. Pasquier L., Pomerol J.C., "Reasoning with Contextual Graphs" European Journal of operational research, N°136,2002, pp 290-298.
- [Brown 1984] Brown, D.C., "Expert Systems for Design Problem-Solving Using Design Refinement with Plan Selection and Redesign", Ph.D. Thesis, Computer and Information Science, Ohio State University, Columbus, 1984.
- [Bruneau &al., 1992] Bruneau J.M., Pujos J.F., "Le management des connaissances dans l'entreprise : ressources humaines et sciences d'informations", éd. d'organisation, Paris 1992.
- [Bühler 1994] Bühler H., "Réglage par logique floue", Presse polytechniques et universitaires romandes, France 1994.
- [Caird 1992] Caird, S., "Problems with Identification of Entreprise Competencies and Implications for Assessment and Development", Management Education and Development. Vol. 23, Part 1, 1992, pp 6-17.
- [Cannavacciuolo &al., 1996] Cannavacciuolo, A. Capaldo, G. Ventre, A. Volpe, A. Zollo, G., "A fuzzy model of the evaluation process", Fuzzy Systems, Proc. of the 5 IEEE International Conference on Publication, 8-11 Sept. 1996, V.2, pp 828-834.
- [Canos &al., 2004] Canos L., Liern V., "Some fuzzy models for human resource management", Int. Journal of Technology, Policy and Management, Vol. 4, N° 4, 2004, pp 291-308.

- [Chandrasekaran & al. 1993] Chandrasekaran B., Johnson T.R., "Generic Tasks and task structures: Hystory, critique and new direction", In David J.-M., Krivine J-P., Simmons R (Ed.), Second Generation Expert Systems Berlin:springer-Verglas 1993, pp 232-272.
- [Chandrasekaran 1990] Chandrasekaran B., "Design problem solving: A task analysis", AI Magazine, vol. 11, 1990, pp 59-71.
- [CNFPT 2001] Centre national de la fonction publique territoriale, direction du développement des compétences territoriales "Référentiels d'emploi – activités – compétences, Guide méthodologique" éd. CNFPT Paris, juin 2001. ISBN : 2 – 84143 – 190 – 8.
- [Competice 2001] Outil de pilotage par les compétences des projets TICE dans l'enseignement supérieur. Sous l'initiative de la Direction de la Technologie (Ministère de la recherche) piloté par ALGORA.
<http://ressources.algora.org/virtual/30/Documents/pdf/competice9.pdf>
- [Crabtree & al., 1997] Crabtree R. A., Fox M. S., Baid N. K. "Case Studies of Coordination Activities and Problems in Collaborative Design", Research in Engineering Design, vol. 9, Springer-Verglas London limited 1997, pp 70-84.
- [D'Hainaut 1980] D'Hainaut L., "Des fins aux objectifs de l'éducation" éd. Labor, 1980.
- [Darses, 2001] Darses F., "Assister la conception : perspectives pour la psychologie cognitive ergonomique", conférence EPIQUE'2001, Nantes, 29-30 Octobre 2001. actes en ligne :
<http://www-sop.inria.fr/acacia/gtpe/GTPE-Actes-epique-2001-tdm.html>
- [De Korvin & al. 2002] De Korvin A., Shipley F., Kleyle R., "Utilizing fuzzy compatibility of skill sets for team selection in multi-phase projects", Journal of Engineering Technology Management, vol 19, 2002, pp 307-319.
- [De la Garza & al., 2000] De la Garza C. et Weill-Facina A., "Régulation horizontales et verticales du risque", In Le travail collectif –perspectives actuelles en ergonomie, Chapitre 10, éd. Octares 2000, pp 217-234.
- [De Montmollin 1986] De Montmollin M., "L'intelligence de la tâche, éléments d'ergonomie cognitive", Peter Lang, Berne, 1986.
- [De Montmollin 1994] De Montmollin M., "La compétence dans le contexte du travail", In la compétence : mythe, construction ou réalité, éd. l'Harmattan 1994.
- [De Terssac, 1996] De Terssac G., "Le travail de conception : de quoi parle-t-on ?", in coopération et conception, éd. Octares 1996.
- [De Terssac, 1998] De Terssac G., "Le travail : un objet commun" 2^{me} journée recherche et ergonomie, Toulouse Février 1998, pp 90-99.
- [Dejoux 2001] Dejoux, C., "Les éléments constants qui permettent de définir la compétence individuelle" Chapitre In Les compétences au cœur de l'entreprise, éd. d'organisation, Paris 2001, pp 150 – 163.

- [Donnadieu &al., 1995] Donnadieu G., Denimal P., "Classification, qualification de l'évolution des emplois à la gestion des compétences", éd. Liaisons Paris 1995.
- [Donnadieu &al., 2002] Donnadieu G., Karsky M., "la systémique, penser et agir dans la complexité", Éd. liaisons, 2002.
- [Doumeingts 1984] Doumeingts G., 'Méthode GRAI : méthode de conception des systèmes en productique', Thèse d'Etat, Université Bordeaux 1, France, 1984.
- [Dronkov &al., 1993] Dronkov D., Reinfrank M., Hellendom H., "An Introduction to Fuzzy Control", Springer-Verlag, London 1993.
- [Dubois &al., 1991] Dubois D., Prade H., "Fuzzy sets in approximate reasoning" (2 parts), Fuzzy Sets and Systems, vol. 40, n° 1, 1991, pp 143-244.
- [Dubois &al., 2003] Dubois S., Lutz P., "Intégration de la TRIZ et de l'Axiomatic Design pour la conception inventive", 5ème congrès du génie industriel, Québec, 26-29 octobre 2003.
- [Dulmet &al., 2001] Dulmet M., Lhote F., "Analyse et caractérisation des couplages entre processus dans les systèmes de production automatisés", APII-JESA, Journal Européen des Systèmes Automatisés, vol. 35, n° 10, 2001, pp 1193-1214.
- [Dulmet &al., 2003] Dulmet M., Bonjour E., "Vers un méta-modèle de pilotage du système de compétences de l'entreprise", Actes du 5ème Congrès International de Génie Industriel, 26-29 octobre 2003, Université de Laval, Québec, Canada.
- [Dulmet 2000] Dulmet M., "De l'exploitation des systèmes de production à l'ingénierie produit-process : Une approche méthodologique de l'organisation de l'activité", Habilitation à diriger des recherches, Université de Franche-Comté, 21 décembre 2000.
- [Dupinet, 1991] Dupinet E., "Contribution à l'étude d'un système informatique d'aide à la conception de produits mécaniques par la prise en compte des relations fonctionnelles", Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Paris, France, 1991.
- [ElMhamedi 1997] ElMhamedi A., "Intégration des activités non structurées dans la modélisation des systèmes de production", Rapport final du projet ACNOS, DSPT 8 – janvier 1997.
- [ElMhamedi 1998] ElMhamedi A., "Contribution à la modélisation et à l'évaluation des performances des activités des systèmes de production", Mémoire HDR ENSAIS Strasbourg, 1998.
- [Endsley, 2000] Endsley M. R., "Situation Models: An avenue to the Modeling of Mental Models", Proceedings of 14th Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 44th Annual Meeting of the human Factors and ergonomics Society. July 30 - August 4, 2000, California 2000.
- [Ermine &al., 1996] Ermine J. L., Chaillot M., Bigeon P., Charreton B., Malavieille D., "MKSM : Méthode pour la gestion des connaissances", Ingénierie des systèmes d'information, AFCET-Hermès, 1996, vol. 4, n°4, pp 541-575.

- [Ermine, 1996] Ermine J.L, "Les systèmes de connaissances", Eds. Hermès 1996.
- [Ewan &al. 1998] Mc Ewan A.E., Sackett P., "The human factor in CIM Systems : Worker empowerment and Control within a high-volume production environment", *Computer in Industry*, Vol. 36 1998, PP 39-47.
- [Eynard 1999] Eynard B., "Modélisation du produit et des activités de conception, contribution à la conduite et à la traçabilité des processus de conception", Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 1999.
- [Fabiola, 2002] Fabiola M. A., "Utilisation des cartes cognitives dans les systèmes multi-agents", 70e congrès de l'Association Francophone pour le savoir ACFAS Université Laval, Canada, du 13 au 17 mai 2002.
- [Faucher &al., 2003] Faucher R., Petterson N., Naji A., "Notions de compétence individuelle et de compétence collective : répertoire de définitions", document de travail No. 0203-04, École des sciences de la gestion Université du Québec à Montréal 2003. référence internet :

http://www.chaire-competences.uqam.ca/pages/documents_pdf
- [Ferber 1995] Ferber J., "Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective", Interéditions, Paris, 1995.
- [Fitzpatrick &al., 2005] Fitzpatrick E. L., Askin R. G., "Forming effective worker team with multi-functional skill requirement", *Computer & Industrial Engineering*, Vol. 48, 2005, pp 593-608.
- [Flin 1998] Flin, R., Goeters, K.M., Hörmann, H.J., Martin, L., "A Generic Structure of Non-Technical Skills for Training and Assessment", 23rd Conference of the European Association for Aviation Psychology, Vienna, 14-18 Sept. 1998.
- [Forest &al., 2005] Auteurs collectifs sous la direction de Forest J., Méhier C., Micaëlli J.P., "Pour une science de la conception", collection sciences humaines et technologie, UTBM, Belfort 2005.
- [Foulard, 1994] Foulard C., "La modélisation en entreprise : CIMOSA et ingénierie simultanée", éd. Hermès, France 1994.
- [Ganascia, 1996] Ganascia J., "Les sciences cognitives", éd. Flammarion, 1996
- [Gardoni, 1999] Gardoni M., "maîtrise de l'information non structurée et capitalisation de savoir et savoir faire en ingénierie intégrée. Cas d'étude Aérospatiale Matra", thèse de doctorat, INPG, Grenoble, 1999.
- [Genelot, 1992] Genelot D., "Manager dans la complexité, réflexions à l'usage des dirigeants", Éd. INSEP, Paris 1992.
- [Giard, 1991] Giard V., "Gestion de projet", Economica, Paris, 1991.
- [Girard &al., 2002] Girard P., Merlo C., Doumeingts G., "Capitalisation des connaissances en ingénierie de la conception", IDMME'02, Clermont-Ferrand, May, 2002.

- [Gronau &al., 2006] Gronau N., Froeming J., Schmid S., Ruessbuel U., "Approach for requirement oriented team building in industrial processes", Computers in industry, Special issue: Competence management in industrial process, to appear in 2006.
- [Grundstein 2001] Grundstein M., 'From capitalizing on Company Knowledge to Knowledge Management', chapter 12, *In* Morey D., M., Maybury, Thuraingham B., "Knowledge Management, Classic and Contemporary Works" the MIT Press, Cambridge, Massachusetts, edited in 2001, pp 261-287.
- [Grundstein 2002] Grundstein M., "De la capitalisation des connaissances au renforcement des compétences dans l'entreprise étendue", 1^{er} Colloque du groupe de travail Gestion des Compétences et des Connaissances en Génie Industriel. Nantes, 12-13 décembre 2002.
- [Hadj-Hamou &al., 2002] Hadj-Hamou K., Aldanondo M., Lamothe J., Caillaud E., "Configurateur et Modeleur CAO : deux outils complémentaires pour l'aide à la conception de produits à forte diversité", International Journal of Design and Innovation Research, IJDIR' 2002, Vol. 3, N° 1 et 2, pp 81-95.
- [Hadj-Hamou &al., 2004] Hadj-Hamou K., Caillaud E., "Cooperative Design: a Framework for Competency Based Approach", 5th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, IDMME'04, Université de Bath, 5-7 avril 2004.
- [Hamel &al., 1989] Hamel G., Prahalad C. K., "Strategic Intent" Harvard Business Review, May-June 1989, pp 63-76.
- [Harani 1997] Harani Y., "Une approche multi modèles pour la capitalisation des connaissances dans le domaine de la conception", Thèse de Doctorat en génie industriel, INPG, Grenoble 1997.
- [Harmel &al., 2006] Harmel G., Bonjour E., Dulmet M., "Products and organisation architecture modeling and control: from strategic expectations to strategic competencies", 12th IFAC Symposium on INformation COntrol problems in Manufacturing, INCOM, IFAC/IEEE/IFIP, Saint-Etienne, May 2006.
- [Harzallah 2000] Harzallah M., "Modélisation des aspects organisationnels et des compétences pour la réorganisation d'entreprise industrielles", thèse de doctorat, Université de Metz, 2000.
- [Harzallah 2006] Harzallah M., Berio G., Vernadat F., "Analysis and modeling of Competencies : Toward Better Management of Human Resources", IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics Vol. 36, n° 1, 2006, 187-207.
- [Hatchuel &al., 2002] Hatchuel A. et Weil B., "La théorie C-K, Fondement et usage d'une théorie unifiée de la conception", International Conférence in the sciences of Design, Lyon (France) March 15-16, 2002.
- [Hermosillo &al., 2002] Hermosillo J., Grabot B; Geneste L., Aguirre O. "Role, skill and Knowledge introducing human resources in BPR", 9th International Multi-Conference on Advanced Computer Systems-Conference on Production System Design, Supply Chain management and Logistics, Pologne, 23-25 octobre. 2002.

- [Hermosillo, 2003] Hermosillo J., "Vers une meilleure prise en compte des ressources humaines dans les processus d'entreprise : Connaissances, Rôles et Compétences", thèse de doctorat, INP de Toulouse, 2003.
- [Hernandez 1995] Hernandez J.O., "Les systèmes de production automatisés : une approche socio-technique", Thèse de doctorat en automatique et informatique, Université de Franche Comté, Besançon, novembre 1995.
- [Herrera &al., 1994] Herrera F., Herrera-Viedma E., Verdegay J.L., "A linguistic Decision Process in Group Decision Making", Technical report, DECSAI-94102, Granada University, Spain 1994.
- [Houé &al., 2006] Houé R., Grabot B., Geneste L., "Competence management for business integration", 12th IFAC Symposium on INformation COntrol problems in Manufacturing, INCOM, IFAC/IEEE/IFIP, Saint-Etienne, May 2006.
- [Houssin 2002] Houssin R., "Contribution à l'amélioration des performances des systèmes complexes par la prise en compte des aspects socio-techniques dès la conception : proposition d'un modèle original de situation de travail pour une nouvelle approche de conception", Thèse de doctorat, l'Université Henri Poincaré, Nancy I, France 2002.
- [Idri, 2003] Idri A., "Un modèle intelligent d'estimation des coûts de développement de logiciels", thèse de doctorat en informatique cognitive, Université de Québec à Montréal, UQAM 2003.
- [IPPOP 2001] IPPOP, "Intégration Produit Processus et Organisation pour l'amélioration de la performance en conception", projet du programme RNTL débuté en 2001 (Réseau National des Technologies Logicielles). Site internet IPPOP : <http://ippop.laps.u-bordeaux1.fr/index.php>
- [Jacob 1994] Jacob G., "Le re-engineering, l'entreprise reconfigure" éd. Hermès, 1994.
- [Jia 1998] Jia T., "Vers une meilleure gestion des ressources d'un groupe autonome de fabrication", thèse de doctorat en sciences de l'ingénieur, Université de Tours 1998.
- [Jolis 1997] Jolis, N., "Piloter les compétences, de la logique de poste à l'atout compétence", éd. d'organisation, Paris, 1997.
- [Kelemen &al., 2002] Kelemen A., Kozma R., Liang Y., "Neuro-Fuzzy classification for the job assignment problem", International Joint Conference on Neural Networks, World Congress on Computational Intelligence, Honolulu, Hawaii, 2002, pp 1831-1836.
- [Klein 1996] Klein, A.L. , "Validity and Reliability for Competency-based systems: Reducing litigation Risks", Compensation & Benefits Review, vol. 28, N° 4 Jul/Aug, 1996, pp 31-37.
- [Kvan &al., 2000] Kvan T., Candy L., "Designing collaborative environments for strategic knowledge in design", Knowledge-Based Systems, Vol. 13, Elsevier 2000, pp 429-438.

- [Kwan & al., 2003] Kwan M.M., Balasubramanian P., "KnowledgeScope: managing knowledge in context", *Decision Support Systems* 35, Elsevier 2003, pp 467– 486.
- [Lang & al., 1999] Lang A., Pigneur Y., "Digital trade of human competencies", proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE Computer Society, January 1999, pp 165-172.
- [Lasnier 2000] Lasnier, F., "Réussir la formation par compétences", Guérin, Montréal, 2000
- [Le Boterf 2000] Le Boterf G., "Construire les compétences individuelles et collectives", éd. d'organisation, Paris 2000.
- [Le Boterf 2002] Le Boterf G., "Ingénierie et évaluation des compétences", éd. d'Organisation (4^{ème}), Paris 2002.
- [Le Moigne, 1990] Le Moigne J.L., "La modélisation des systèmes complexes", AFCET Systèmes, éd. Dunod, 1990.
- [Lefebvre & al., 2002] Lefebvre P., Roos P., Sardas J-C., "From the management of expertise to the management of design metier", EURAM Conference, Stockholm, 9-11 May 2002.
- [Leplat 1997] Leplat J., "Regards sur l'activité en situation de travail : contribution à la psychologie ergonomique", le travail humain, PUF, 1997.
- [Lesage 1997] Lesage C., "Evaluation du risque d'audit : proposition d'un modèle linguistique", Cahier de Recherche du CEREG, N°9713, 1997.
- [Levy-Leboyer 1996] Levy-Leboyer C., "La gestion des compétences", éd. organisation, 1996.
- [Ley & al., 2003] Ley T., Albert D., "Identifying Employee Competencies in Dynamic Work Domains: Methodological Considerations and a Case Study", *J. of Universal Computer Science* Vol. 9, n° 12, 2003, pp 1500-1518.
- [Ley 2006] Ley T., "Organizational Competency Management: A Competence Management Approach", Shaker verglas 2006.
- [Lhote & al., 1999] Lhote F., Chazelet Ph., Dulmet M., "The extension of principles of cybernetics, towards engineering and manufacturing", *Annual Reviews in Control*, Vol. 23, 1999, pp 139-148.
- [Liao 2003] Liao S. H., "Knowledge management technologies and applications-literature review from 1995 to 2002", *Expert Systems with Applications*, Vol. 25, Elsevier 2003, pp 155–164.
- [Limayem & al., 2000] Limayem, F., Yannou, B., 'La méthode SPEC : une modélisation détaillée du Cahier des Charges Fonctionnel pour un suivi de projet et une maîtrise des risques", *Congrès international AFAV'00 : Les hommes et le management par la valeur*, Paris 2000.
- [Livian, 1998] Livian Y. F. "Organisation, théories et pratiques", éd. Dunod, 1998.
- [Lorino 1996] Lorino P., "Le pilotage de l'entreprise : de la mesure à l'interprétation" *In cohérence, pertinence et évaluation*, éd. ECOSIP, 1996.

-
- [Lucia &al., 1999] Lucia, A.D., Lepsinger R., "The art and science of competency models: Pinpointing critical success factors in Organizations". Jossey-Bass 1999.
- [Malvache &al., 1993] Malvache P. Prieur P., "Mastering Corporate Experience with the REX Method", Management of Industrial and Corporate Memory, Proceedings of ISMICK'93, Compiègne 1993, pp 33-41.
- [Mandon, 1990] Mandon N., "La gestion prévisionnelle des compétences : la méthode ETED", CEREQ, collection des études n° 57, 1990.
- [Maret &al., 1997] Maret P., Pinon JM., "Ingénierie des savoir-faire - compétences individuelles et mémoire collective", éd. Hermès, Paris, 1997.
- [Matta &al., 1999a] Matta N., Ribiere M., Corby O., "Définition d'un modèle d'accès à la mémoire de projet", INRIA, Rapport de recherche N°3720, 1999.
- [Matta &al., 1999b] Matta N., Corby O. Ribiere M., "Méthodes de capitalisation de mémoire de projet", INRIA, Rapport de recherche N°3819, 1999.
- [McClelland 1973] Mc Clelland D. C., "Testing for Competence Rather Than for "Intelligence", American Psychologist, January 1973.
- [MEDEF 2002] MEDEF, "L'influence des contextes nationaux sur le management par les compétences", Cahiers du MEDEF, Objectif compétences, des pratiques européennes innovantes, France 2002.
- [Menand 2002] Menand S., "Modélisation pour la réutilisation du processus de conception multi acteur de produits industriels", Thèse de Doctorat, Laboratoire GILCO INP Grenoble 2002.
- [Mendel 1995] Mendel J.M. "Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial", Proceeding of the IEEE Vol. 83, N°3 March 1995, pp 345-377.
- [Mer &al., 1998] Mer S., Laureillard P., "Partage des connaissances dans un système de conception", *In* Connaissances et savoir-faire en entreprise, Hermès, 1998.
- [Merlo 2003] Merlo C., "Modélisation des connaissances en conduite de l'ingénierie : mise en œuvre d'un environnement d'assistance aux acteurs", thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 2003.
- [Micaëlli &al., 2003] Micaëlli J.P., Forest J., "Artificialisme, Introduction à une théorie de la conception", collection Epistémologie , INSA de Lyon, 2003.
- [Michel &al., 1991] Michel S., Ledru M., "Capital compétence dans l'entreprise : une approche cognitive", éd. ESF, 1991.
- [Midler 1993] Midler C., "Evolution des modèles d'organisation et régulation économiques de la conception", Annales des Mines, Février 1997, pp 35-40.
- [Miermont, 1995] Miermont J., "Réalité et construction des connaissances", revue internationale de la systémique, Vol 9, N° 2, 1995.
- [Mintzberg, 1982] Mintzberg H., "Structure et Dynamique des organisations", éd. d'Organisation, Paris, 1982.
-

- [Mitrani &al., 1992] Mitrani, A., Dalziel M., Bernard A., " Des compétences et des hommes : le management des ressources humaines en Europe", Éd. Organisation, 1992.
- [Moka, 1999] Moka user guide, deliverable du consortium MOKA, sur internet :
<http://www.kbe.coventry.ac.uk/moka/>
- [Muller, 1997] Muller P.A., "Modélisation objet avec UML" éd. Eyrolles 1997.
- [Murray 1996] Murray P.C., "Who owns knowledge management?", Information, Knowledge and Document Management Technology, KM Metazine, 1996.
- [NF-EN614, 1995] Norme Européenne, NF EN 614-1, Principes ergonomiques de conception, "Terminologie et principes généraux", Comité Européen de Normalisation, septembre 1995.
- [Nonaka &al., 1995] Nonaka I., Takeuchi H., "The knowledge-Creating Company : How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation", Oxford University Press, 1995.
- [Nonaka 1991] Nonaka I., "The knowledge-Creating Company", Harward Business Review, Nov/Dec 1991.
- [Oget 2001] Oget D., Sonntag M., "Aspects cognitifs et conatifs de la compétence collective", 4^{ème} congrès international de Génie Industriel, Marseille, 12-15 juin 2001.
- [Oirey &al., 2001] Oirey E., Iribarne A. "La notion de compétence : continuités et changements par rapport à la notion de qualification", sociologie du travail, Elsevier sciences, vol 43, 2001, pp 49-66.
- [Österlund 1997] Österlund J., "Competence Management by Informatics in R&D: The Corporate Level", IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 44, N° 2, May 1997.
- [Ouazzani 1999] Ouazzani A. "Représentation dynamique du processus de conception : une perspective de capitalisation de l'historique de conception", Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Paris, France, 1999.
- [Özturk &al., 1998] Özturk P., Aamodt A., "A context model for knowledge-intensive case-based reasoning", Int. J. Human-Computer Studies, V.48, 1998, pp 331-355.
- [Pahl &al., 1996] Pahl G., Beitz W., "Engineering Design: a Systematic Approach", 2nd éd., Springer-Verlag, London, 1996.
- [Paradeise &al., 2001] Paradeise C., Lichtenberger Y., "Compétence, Compétences", sociologie du travail, Elsevier sciences, Vol. 43, pp 33-48.
- [Pemartin 1999] Pemartin, D., "La compétence, de quoi parle-t-on ?" Chapitre 2, *In Gérer par les compétences ou comment réussir autrement ?*, éd. EMS, Paris 1999, pp 33 – 52.
- [Penalva, 1997] Penalva J.M. "La modélisation par les systèmes complexes", Thèse de doctorat, Université de Paris Sud, décembre 1997.

- [Penalva, 1999] Penalva J.M, "Situations et Systèmes Complexes", Actes de l'école d'été Gestion Scientifique du risque, ALBI le 6/10 septembre 1999.
- [Pépiot 2005] Pépiot G., "Méthodologie des entreprises sur la base des compétences", thèse de doctorat en génie mécanique, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL 2005.
- [Perrenoud, 1997] Perrenoud, Ph., "Développer des compétences dès l'école", éd. ESF, collection Pratiques & enjeux pédagogiques, Paris 1997.
- [Perrin, 1999] Perrin J., "Pilotage et évaluation des processus de conception", éd. L'Harmattan 1999.
- [Perrin, 2001] Auteurs collectifs sous la direction de Jacques Perrin, "Conception entre science et art", collection Epistémologie, INSA de Lyon, Juin 2001.
- [Pfeffer 1998] Pfeffer J., "Seven Practices of Successful Organizations", California Management Review, Vol. 40, N° 2, winter 1998, pp 96-124.
- [Piaget 1975] Piaget J., "L'équilibration des structures cognitives", PUF, 1975.
- [Picard, 2003] Picard F., "Compétences et processus cognitifs : l'apport de la cartographie cognitive à la formalisation des compétences économiques des agents" dans Economie et Société N° 04, 2003.
- [Pierreval 1990] Pierreval H., "Les méthodes d'analyse et de conception des systèmes de production" éd. Hermès 1990.
- [Polanyi, 1966] Polanyi M., "The Tacit Dimension", Routledge & Kegan, London, 1966.
- [Pourcel 1995] Pourcel C., "Concepts d'activité dans le projet AICOSCOP", actes du séminaire ACNOS, Strasbourg 4-5 septembre 1995.
- [Poveda 2001] Poveda O., "Pilotage technique des projets d'ingénierie simultanée, modélisation des processus, analyse et instrumentation", Thèse de doctorat INP Grenoble 2001.
- [Prahalad & al., 1990] Prahalad C.K., Hamel G., "The core competence of the corporation", Harvard Business review, may-june 1990, pp 79-91.
- [Prax, 2000] Prax J.Y., "Le guide du Knowledge management – Concepts et pratiques de la gestion des connaissances", éd. Dunod 2000.
- [Quellin & al., 2000] Quellin B., Arregle J.L., "Le management stratégique des compétences", éd. Ellipses, 2000.
- [Quesada & al., 2003] Quesada T.F., Darses F., Lewkowicz M., "Une démarche centrée utilisateur pour la conception d'un portail coopératif d'aide à l'innovation", RSTI, série Ingénierie des Systèmes d'Information, Vol 8, N°2 (Systèmes d'information coopératifs) 2003, pp 11-31.
- [Rabardel, 1993] Rabardel P. "Présentation du chapitre Représentations dans les situations d'activités instrumentées" In Weill-Fassina A., Rabardel P., Dubois D., "Représentations pour l'action", éd. Octarès, Toulouse 1993. pp 97-111.

- [Rasmussen 1986] Rasmussen J. "Information processing & human machine interaction An approach to cognitive engineering", éd. Sage 1986.
- [Rault, 1993] Rault-Jacquot V., "Contribution à la valorisation du patrimoine technologique de l'entreprise : Proposition d'une approche de l'inventaire et de l'évaluation des compétences", thèse de doctorat en génie industriel, I.N.P. Loraine, Nancy 1993.
- [Raveyre 1990] Raveyre M-F., "la notion de métier comme représentation du travail" in "les analyses du travail, enjeux et formes" CEREQ, collection des études n° 54, 1990, pp 165-167.
- [Redman, 1992] Redman, T. C., "Data quality: management and technology", New York, NY: Bantam Books, 1992.
- [Renaud &al., 2003] Renaud J., Thibault J., Zaras K., Lanouette R., Fournier F., Fonteix C. "Decision Making By Rough Sets Applied to Chemical And Biochemical Processes Multicriteria Optimization", 12th International Conference on Management of Technology, Nancy, France. May, 13-15, 2003.
- [Renaud 2006] Renaud J., "De la capitalisation des connaissances à l'approche multicritère : Proposition de modèles de choix à l'industriel", conférence invité, 14ème Atelier de raisonnement à partir de cas, Besançon, 30-31 mars 2006.
- [Reynaud 2001] Reynaud J-D., "le management par les compétences : un essai d'analyse", sociologie du travail, Elsevier, Vol. 43, 2001, pp 7-31.
- [Roozenburg &al., 1995] Roozenburg, N.F.M. and Eekels, J., "Product design: fundamentals and methods", Wiley & Sons, Chichester 1995.
- [Roques, 2003] Roques P., "UML par la pratique", Eyrolles, 2^{ème} éd. 2003.
- [Rose &al., 2006] Rose B., Robin V., Caillaud E., Girard P., "Comment répondre aux challenges de la gestion des compétences en conception collaborative de produit ?", La Semaine de la Connaissance, groupe C2EI, Nantes 26 - 30 juin 2006.
- [Rosemann &al., 1998] Rosemann, M., Zur Muehlen M., "Evaluation of Workflow Management Systems - a Meta Model Approach", Australian Journal of Information, Systems, Vol. 6, N°1, 1998, pp 103-116.
- [Rosnay, 1975] Rosnay J., "Le microscope", Éd. du Seuil, 1975.
- [Saucier, 1997] Saucier A., "Un modèle multi-vues du produit pour le développement et l'utilisation de systèmes d'aide à la conception en ingénierie mécanique", Thèse de doctorat, E.N.S. de Cachan, France, 1997.
- [Schneider, 1994] Schneider D. K. "Modélisation de la démarche du décideur politique dans la perspective de l'intelligence artificielle", Thèse de doctorat, Université de Genève, Septembre 1994.
- [Schreiber, 1992] Schreiber A. T., "Pragmatics of the Knowledge Level", PHD thesis, Université d'Amsterdam, Pays-Bas, 1992.

- [Schwartz &al., 1994] Schwartz G.D., KLIR G.J., Lewis H.W., Ezawa Y., "Applications of Fuzzy Sets and Approximate Reasoning", invited paper, Proceedings of the IEEE, Vol. 82, N° 4, April 1994, pp482-498.
- [Searle, 1998] Searle J., "La construction de la réalité sociale", Jacob, Paris, 1998.
- [Sebillotte 1998] Sebillotte S., "Schémas d'actions acquis par l'expérience dans les représentations mentales des opérateurs : leurs utilisations et la construction de nouveaux schémas", *In* J.M. Barbier, Savoirs théoriques et savoirs d'action, PUF, Paris, 1998 pp 57-77.
- [Shaw 1982] Shaw M.E., "Theories of social psychology", McGraw-Hill, New York, 1982.
- [Shen &al., 2006] Auteurs collectives sous la direction de Shen W, Chao K.M, Lin Z, Barthès J.P. "Computer Supported Cooperative Work in Design II", Lecture Notes in Computer Science. Berlin: Springer-Verlag; 3865; 2006.
- [Simon, 1969] Simon, H. "The sciences of the artificial", MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1969.
- [Simon, 1991] Simon H.A., "Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel", version traduite en français par J-L. Le Moigne, éd. Dunod 1991.
- [Singh 1992] Singh B., "Interconnected Roles: A coordination Model", MCC Technical Report, 1992.
- [Skyrme, 1994] Skyrme D., "The Knowledge Asset, Management Insight", David Skyrme Associates, N° 11, 1994.
- [Sonnenwald 1996] Sonnenwald D. H., "Communication roles that support collaboration during the design process", Design studies, Vol. 17, 1996, pp 277-301.
- [Sosa &al., 2003] Sosa M. E., Eppinger S. D., Rowles C. M., "Identifying modular and integrative systems and their impact on design team interactions". ASME Vol. 125, 2003.
- [Spencer &al., 1993] Spencer L.M., Spencer S.M., "Definition of competency", Chap. 2 *In* Competence at Work, Models for Superior Performance, John Wiley and Sons inc 1993, pp 9-16.
- [Steels, 1993] Steels L., "Corporate Knowledge Management", Management of Industrial and Corporate Memory, Proceedings of ISMICK'93, Compiègne 1993.
- [Stenlund &al. 1999] Stenlund K.L, Hörte S.A., "Competence accounting – methods for measuring and valuing key competencies" European Operations Management Association VI International Annual Conference "Managing Operations Networks", Venice, Italy, 7-8 June 1999.
- [Studer &al., 1998] Studer R, Benjamins V.R, Fensel D., "Knowledge Engineering: Principles and methods", Data and Knowledge Engineering, Vol. 25, 1998, pp 161-197

- [Sübmilch-Walther, 2002] Sübmilch-Walther I. "A situation-oriented and personalized framework for role modelling", Lecture Notes in Computer Science, Vol.2569, Proceedings of the 4th International Conference on Practical Aspects of Knowledge Management, 2002, PP 339 – 346.
- [Tarpin-Bernard, 1997] Tarpin-Bernard F., "Travail coopératif synchrone assisté par ordinateur : Approche AMF-C", thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon, 1997.
- [Tichkiewitch 1996] Tichkiewitch S., "Specifications on integrated design methodology using a multi-view product model", Engineering System Design and Analysis Conference, ASME'96, Montpellier, 1996.
- [Troussier 1990] Troussier J-F., "Des systèmes à la tâche" *In* Les analyse du travail, enjeux et formes, CEREQ, Collection des études n° 54, 1990, pp 93-94.
- [Tsai &al., 2003] Tsai H-T., Moskowitz H., Lee L-H., "Human resource selection for software development projects using Taguchi's parameter design", European Journal of Operational Research, Vol. 151, 2003, pp 167-180.
- [Tseng &al., 2004] Tseng T-L., Huang C-C., Chu H-W., Gg R-R., "Novel approach to multi-functional project team formation", International Journal of Project Team, Vol., 22, 2004, pp 147-159.
- [Tsuchiya, 1993] Tsuchiya S., "Improving Knowledge Creation Ability through Organizational Learning", Proceedings of the 1st International Symposium on the Management of Industrial and Corporate Knowledge, ISMICK'93, Compiègne, 1993.
- [Uschold &al., 1998] Uschold M., King M., Moralee S., Zorgios Y., (1998) "The Enterprise Ontology", The Knowledge Engineering Review, Vol. 13 (1) 1998, pp 31-89
- [Vargas 1995] Vargas C., "Modélisation du processus de conception en ingénierie des systèmes mécaniques. Application à la conception d'une culasse automobile ", Thèse de doctorat, E.N.S. Cachan, France, 1995.
- [Vasconcelos &al., 2000] Vasconcelos J., Kimble C., Gouveira F.,Kudenko D., "A Group Memory System for Corporate Knowledge Management: an Ontological Approach", Proceedings of the 1st European Conference on Knowledge Management (ECKM'2000) Bled School of Management, Slovenia, Oct. 2000, pp 91-99.
- [Vergnaud 1998] Vergnaud G., "Au fond de l'action, la conceptualisation" *In* J.M Barbier, Savoirs théoriques et savoirs d'action, Education et formation, PUF, Paris, 1998, pp 275-292.
- [Vernadat, 1996] Vernadat F. B., "Enterprise Modelling and Integration : principles and applications", Chapman & Hall, London, 1996.
- [Vernadat, 1999] Vernadat F. B., "Technique de modélisation en entreprise : application aux processus opérationnels", éd. Economica, 1999.
- [Vidal &al., 1998] Vidal-Gomel C., Samurçay R., "Analyse des compétences pour la gestion des risques au travail", Actes du colloque Recherche et Ergonomie, Toulouse, février 1998, pp 113-118.

- [Vidal &al., 2002] Vidal-Gomel C., Samurçay R., "Qualitative analyses of accidents and incidents to identify competencies", The electrical systems maintenance case", Safety Science, Vol. 40, 2002, pp 479–500.
- [Weill 1990] Weill-Fassina A., "L'analyse des aspects cognitifs du travail", CEREQ, collection des études, N° 54, 1990, pp 193-198.
- [Weill, 1994] Weill M., "Le management, la pensée, les concepts, les faits", éd. Armand Colin, 1994.
- [Yannou &al., 2006] Auteurs collectifs sous la direction de Yannou B., Bonjour E., "évaluation et décision dans les processus de conception", éd. Hermès, collection Traité IC2, septembre 2006.
- [Zadeh 1965] Zadeh, L., "Fuzzy Set", Information and Control, vol. 8, 1965, pp 338-353.
- [Zarifian 2001] Zarifian, P., "Sur la définition de la compétence" Chapitre 4 *In* Le modèle de la compétence, éd. Liaisons, Paris, 2001, pp 77 – 92.
- [Zhang &al., 2001] Zhang M. J., Lado A. A., "Information systems and competitive advantage: a competency-based view", Technovation, vol. 21, 2001, pp 147-156.

Annexes

Sommaire des annexes

ANNEXE I : Récapitulatif des Différents travaux dédiés au pilotage des compétences.....	A1
ANNEXE II : Exemples de taxonomies d'évaluation des compétences	A3
ANNEXE III : Notions de base UML.....	A6
ANNEXE IV : Attributs - Méthodes	A10
ANNEXE V : Modélisation dynamique des entites interactionnelles	A12
ANNEXE VI : Description du processus de conception technique	A15
ANNEXE VII : Notions de base sur la logique floue	A18
ANNEXE VIII : Les règles d'inférences et les fonctions d'appartenance	A23

ANNEXE I : RECAPITULATIF DES DIFFERENTS TRAVAUX DEDIES AU PILOTAGE DES COMPETENCES

Référence	Objectif	Approche utilisée	Ressources compétence
[Acuna &al., 2004]	Affectation	Heuristique	Intra-personnelles, interpersonnelles, organisationnelles, managériales.
[Ahmad &al., 2003]	Impact de pratiques de la GRH sur la performance	Statistique, Moyenne mathématique	Non renseignées
[Bennour, 2004]	Impact de la compétence sur la performance globale	Lois de pondération mathématique	Savoir, savoir-faire, savoir-être
[Boucher &al., 2003b]	Intégration de la compétence dans le calcul de performance.	Logique floue (Distance de Hamming)	Référentiel ROME
[Cannavacciuolo &al., 1996]	Evaluation des compétences	Logique floue	Technique, autonomie, capacités interpersonnelle, management, relationnel.
[Canos &al., 2004]	Affectation, Sélection des équipes projet	Logique floue, distance Hamming	Non explicitées
[De Korvin &al., 2002]	Sélection des équipes projet	Logique floue	Non explicitées
[Fitzpatrick &al., 2005]	Formation équipes projet	Heuristique mathématique	Mesure globale des comportements individuel, interpersonnel
[Flin &al., 1998]	Caractérisation des compétences	Conceptuelle	Non technique : Coopération, leadership, consciences de situation, prise de décision.

Référence	Objectif	Approche utilisée	Ressources compétence
[Hadj-Hamou & al., 2004]	Constitution équipes projet de conception	Programmation par contraintes	Expertise technique Niveau de coopération
[Harzallah 2000]	Référentiel de gestion des compétences	Modélisation et outil informatique	Savoir (théorique, sur l'existant, procédural) Savoir faire (formalisé, empirique), Savoir être (relationnel, cognitif, comportement).
[Hermosillo, 2003]	Evaluation des compétences Aide à l'affectation	Modélisation par les processus Mathématique	Technique, organisationnelle, d'évaluation, de décision, d'interprétation, d'adaptation, relationnelle.
[Kelemen & al.2002]	Team building	Neuro- floue	Non renseignées
[Ley & al., 2003],	Identification des compétences	Heuristique	Non explicitée, juste des exemples de compétences
[Pépiot 2005]	Valorisation des compétences	Logique floue	Savoir, savoir-faire, savoir-être
[Rose & al., 2006]	Référentiel de gestion des compétences	Modélisation et outil informatique	techniques, relationnelles, organisationnelles, sociales et d'adaptation
[Stenlund & al., 1999]	Valorisation des compétences clés	Empirique	Connaissances techniques, ressources intangibles.
[Tsai & al., 2003]	Affectation	Méthode de Tagushi	Techniques, collaboratives, expérience
[Tseng & al., 2004],	Constitution équipes projet de conception	Heuristique & Logique floue	Non explicitées
[Vasconcelos & al., 2000]	Ontologie	Conceptuelle	Compétences : techniques, cognitives, physiques et manuelles, management projet, commerciales.
[Vidal & al., 2002]	Méthode de caractérisation des compétences	Conceptuelle et empirique	Non renseignées

Tableau A-11. Récapitulatif des travaux dédiés au pilotage de compétences

ANNEXE II : EXEMPLES DE TAXONOMIES D’EVALUATION DES COMPETENCES

II.1. TYPOLOGIE DES DEMARCHES COGNITIVES DE L. D’HAINAUT [D’HAINAUT 1980]

Démarches intellectuelles	Sous-familles
Démarches relatives aux rapports entre l’individu et son milieu	
Prendre et traiter l’information	Connaître, identifier ou trouver les sources d’information Répertorier ces sources d’information
Trouver les relations de l’environnement	Chercher des données pertinentes du milieu d’étude ou déduire de nouvelles données et relations
Communiquer	Réception et compréhension des messages Emission de messages, s’exprimer
Traduire	Exploration du message à traduire Identification des éléments particuliers Transcription par application de nouveaux concepts et codes
S’adapter	Perception claire et objective du milieu Ajustement des attentes et des projets à la réalité Perception et compréhension du changement Ajustement des projets, des attitudes, des démarches et des critères à la nouvelle situation.
Démarches relatives à la pensée en action	
Mettre en œuvre des modèles	Choisir le modèle adéquat à la situation Appliquer le modèle à une situation particulière Evaluer les résultats Connaître les limites du modèle et la valeur des solutions
Résoudre des problèmes	Identifier le problème, le rattacher à une classe de situations Identifier les données et variables pertinentes Contrôler qu’on dispose de tous les éléments nécessaires Définir un plan d’action, ou une stratégie de recherche Mettre en œuvre la stratégie choisie et la méthode associées Contrôler le résultat Déterminer les limites de validité ou de pertinence de la solution

Inventer et créer	Imaginer Créer, Vérifier l'originalité
Juger et évaluer	Déterminer le but de l'évaluation Réunir l'information sur la situation à évaluer Réunir l'information sur les critères de jugement Choisir les critères d'évaluation Hiérarchiser les critères selon le but et les contraintes Appliquer une combinaison adéquate de critères Appliquer une méthode d'évaluation adéquate Conclure au jugement
Démarches relatives à la pensée spéculative	
Abstraire	Identifier les éléments qui constituent une situation Distinguer les éléments pertinents pour résoudre un problème Poser les hypothèses relatives aux relations entre ces éléments Traduire la situation en un langage qui exprime d'une façon plus complète la structure de la situation abstraite Vérifier que le modèle représente toutes les variables critiques du problème Arrêter un plan de recherche de nouvelles relations devant conduire à résoudre le problème Mettre en œuvre le plan de recherche et contrôler chaque étape Déterminer les limites de la validité du modèle
Expliquer	Fournir un modèle explicatif et descriptif des relations dans une situation
Démontrer	Former de nouvelles règles et opérations logiques pour partir d'une situation initiale vers une situation finale
Prévoir, déduire	Trouver un cas particulier découlant d'une situation objet de l'activité
Apprendre	Percevoir et avouer son ignorance et ses lacunes Percevoir le but d'apprentissage Chercher l'information nécessaire Détecter et apprendre les prérequis à l'intégration de l'information Établir les relations de similitude et de discrimination entre l'acquis et le matériel appris Restructurer la matière apprise Fixer la matière apprise par rapport aux buts d'apprentissage Appliquer la matière apprise dans de nouvelles situations Contrôler la valeur de son apprentissage
Démarches en rapport avec l'action	
Agir	Poser des objectifs d'action Préparer l'action Réaliser l'action Évaluer les résultats de l'action Corriger l'action
Décider	Préciser les objectifs Préparer la décision Prendre la décision Évaluer les résultats Réajuster la décision

Concevoir un plan d'action	Préciser les objectifs Réunir les éléments nécessaires à l'élaboration du plan d'action Déterminer le déroulement de l'action Modifier le plan en fonction des changements de la situation Prévoir les modifications possibles dans la situation Evaluer le plan d'action et le corriger
Transformer	Fixer des objectifs de transformation Préparer la transformation Exécuter la transformation Evaluer les résultats Corriger l'action
Organiser	Fixer les objectifs de l'organisation Préparer l'organisation Mettre en œuvre les principes organisateurs et modèles Evaluer l'organisation Réajuster l'organisation

Tableau A-12. Typologie des démarches cognitives de L D'HAINAUT

II.2. CLASSIFICATION DE MICHEL ET LEDRU

[MICHEL &AL., 1991]

Démarches intellectuelles	Sous-familles
Application	Production Application procédure Diagnostic (détecter les causes de dysfonctionnement) Régulation (maintenir le système en état de marche)
Adaptation	Analyse (mettre en relation les éléments du système étudié) Régulation (améliorer le fonctionnement global du système) Formalisation (les conditions de mise en œuvre de solution) Conception : élaborer des modèles descriptifs et des constructions intellectuelles à partir d'un grand nombre de théories et schémas disponible
Création	Elaborer un processus de résolution sans avoir une représentation claire du problème et de la solution.

Tableau A-13. Classification de Michel et Ledru

ANNEXE III : NOTIONS DE BASE UML

III.1. DEFINITIONS GENERALES

Le langage de modélisation UML s'appuie sur des concepts, des relations et des diagrammes.

- Les **concepts** sont de quatre types : *structurels* (ex. les classes, etc.), *comportementaux* (les états d'objets), *de groupement* (les package, etc.) et *annotationnels* (les notes).
- Les **relations** permettent de lier les concepts. UML offre quatre types de relations : les associations, les généralisations, les dépendances et les réalisations.
- Les **diagrammes** constituent des représentations graphiques d'ensemble de concepts. Ils sont définis par des graphes connexes dont les sommets sont des concepts et les arcs des relations inter-concepts. UML dispose de neuf types de diagrammes (cinq statiques et quatre dynamiques) pour décrire les différentes vues du système.

Diagrammes statiques

- Le diagramme de classes exprime la structure statique du système à travers les différentes classes et les relations entre elles.
- Le diagramme d'objets illustre un contexte particulier du problème par instantiation des valeurs du (ou des) diagramme des classes correspondant.
- Le diagramme des cas d'utilisation : permet de déterminer et d'organiser les fonctions du système d'un point de vue utilisateur.
- Le diagramme de composants et le diagramme de déploiement définissent les différents composants physiques et leur organisation dans un système informatique

Diagrammes dynamiques

- Le diagramme d'activités modélise le comportement d'une classe ou d'une opération en termes d'actions.
- Le diagramme de séquences permet la représentation temporelle des différentes interactions dans un système informatique.
- Le diagramme d'états transition décrit le comportement d'une classe ou d'un objet en termes d'évolution entre les différents états.
- Le diagramme de collaboration : représentation des différents liens et interactions

III.2. OBJET ET CLASSE D'OBJETS

L'objet est le concept de base du langage UML, il représente quelque chose du domaine à modéliser qui a un cycle de vie. Une classe regroupe un ensemble d'objets possédants les mêmes propriétés. Une classe identifie les abstractions du domaine du problème. Elle est représentée graphiquement par un rectangle divisé sur trois champs (figure A-72) :

- Le champ NOM décrit le nom de la classe d'objets
- Le champ variable d'instanciation ou les attributs permet de définir les différentes caractéristiques des classes et qui seront instanciées sur tous les objets concernés exemple : la classe voiture peut avoir comme attributs : la puissance, la vitesse, ...
- Le champ opération permet de décrire les différentes opérations que peut faire une classe ou ces compétences exemple pour la classe voiture, on peut avoir les opérations suivantes : Démarrer, accélérer, freiner et arrêter.

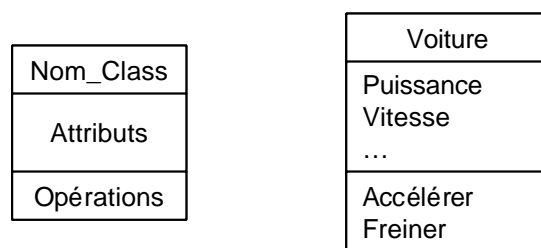


Figure A-72. Exemple d'une classe d'objets

L'abstraction permet de décrire la classe sur un domaine selon des niveaux d'accès

- (+) Les informations à caractère public sont accessibles par toutes les autres classes.
- (#) Les informations à caractère protégé d'une classe sont accessibles uniquement par les méthodes de la même classe ou de ses sous classes directes.
- (-) Les informations à caractère privé ne sont pas accessibles directement.

III.3. DIAGRAMME DE CLASSES : LES ASSOCIATIONS

Une association représente une connexion sémantique bidirectionnelle entre deux classes. Une association, (nommée R), comporte un sens de lecture et deux cardinalités de type (min..max), un sur chaque classe, exprimant le nombre d'instances impliquées dans l'association (pour le diagramme d'objets correspondant). On peut avoir plusieurs formes de cardinalités :

- (1) une seule instance ; (*) 0 ou plusieurs instances ; (1..*) au moins une instance ;
- (0..1) au plus une instance ; (n1..n2) : entre n1 et n2 instances d'objets.

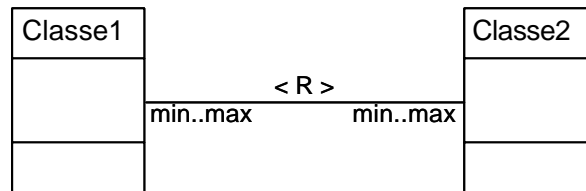


Figure A-73. Relation d'association

- **L'association n aire** est une association permet de lier entre plus de deux classes.

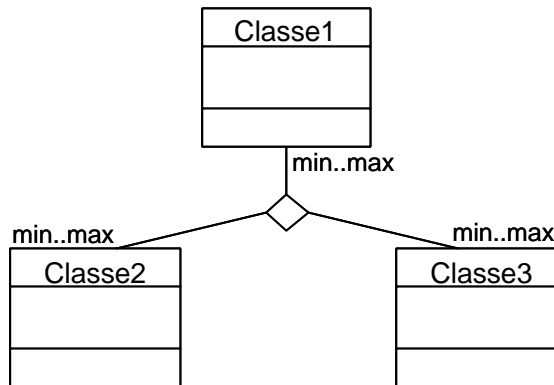


Figure A-74. Association n-aire

- **L'Association à navigabilité restreinte** est une association dans un sens unique.
- **L'agrégation** est une association non symétrique de type agrégat-agrégé, où une classe fait référence à une autre classe exemple personne-poids. La destruction d'une classe agrégat entraîne la destruction de toutes ses classes agrégées.

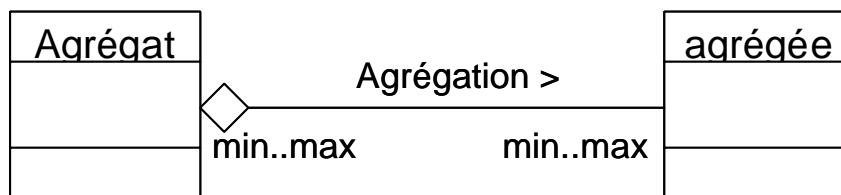


Figure A-75. Relation d'agrégation

- **La composition** est une relation d'agrégation particulière de type composé-composant exemple (maison-chambres).

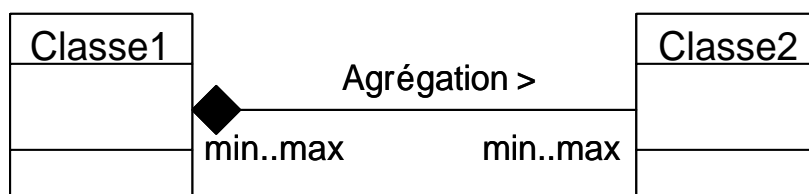


Figure A-76. Relation de composition

- **La classe d'association** est une association particulière qui permet de regrouper un ensemble d'associations entre deux classes (dans le cas où il y'a plus d'une association) ou aussi de définir des attributs supplémentaires sur une association de type particulier. Une classe d'association (figure A-77) se comporte comme n'importe quelle autre classe à travers d'autre relation d'association, d'agrégation ou d'héritage.

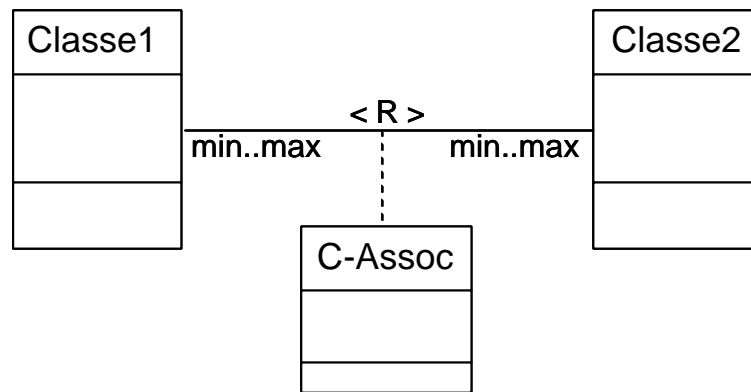


Figure A-77. Classe d'association

- **La relation d'héritage** permet d'établir des classifications de concepts selon des critères de généricité (figure A-78). Il existe deux façons d'interpréter une relation d'héritage :
 - **La généralisation** est la démarche ascendante qui regroupe les classes d'éléments communs vers une surclasse (classe mère).
 - **La spécialisation** est la démarche descendante qui capture les particularités d'un ensemble d'objets non discriminé par des classes déjà définies.

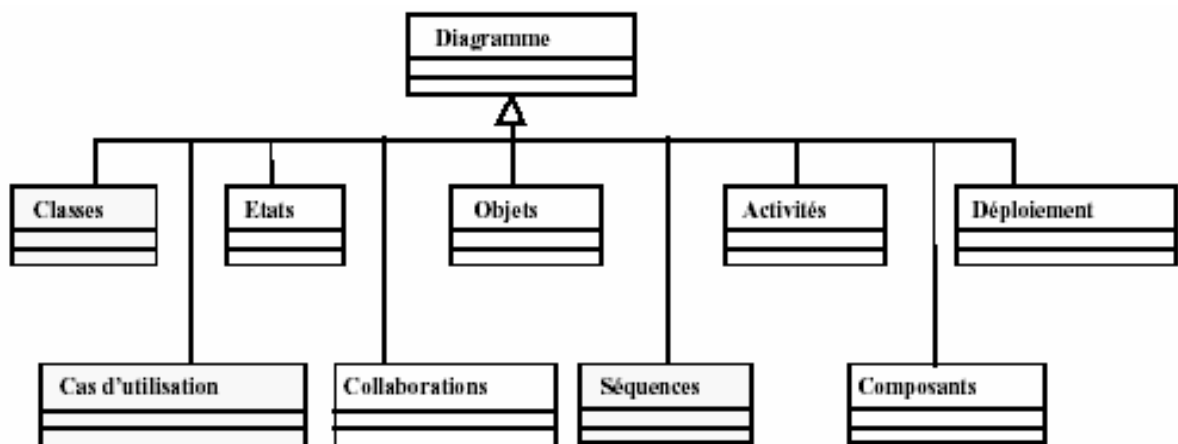


Figure A-78. Représentation des diagrammes UML par une relation d'héritage

ANNEXE IV : ATTRIBUTS - METHODES

(Prise en compte des caractéristiques de la situation dans la conception des modèles)

CLASSE	ATTRIBUTS	METHODES
Produit	Nombre composants type	Déterminer Nbre_composants_type ()
	Nombre total composants	Déterminer Nbre_composants_total ()
Processus	Nombre total tâches	Déterminer Nbre_total_tâches ()
	Nombre total entités	Déterminer Nbre_total_entités ()
Plan action	Nombre actions élémentaires	Déterminer Nbre_actions_élément ()
	Nombre actions analyse	Déterminer Nbre_actions_analyse ()
	Nombre actions recherche	Déterminer Nbre_actions_recherche ()
	Nombre actions traitement	Déterminer Nbre_actions_traitement ()
	Nombre actions évaluation	Déterminer Nbre_actions_évaluation ()
	Nombre actions décision	Déterminer Nbre_actions_décision ()
	Proximité analyse	Calculer Prox_Analyse ()
	Proximité application	Calculer Prox_Application ()
	Proximité décision	Calculer Prox_Décision ()
	Nombre occurrences entité cible	Déterminer Nbre_occurrences_entité ()
	Nombre total occurrences entité	Déterminer Nbre_occurrences_total ()
Rôle Objet	Nombre entités objet dans une activité	Déterminer Nbre_entités_objet ()
Rôle Support	Nombre entités support dans une activité	Déterminer Nbre_entités_support_activité ()
	Nombre entités support dans une EI_Transactionnelle	Déterminer Nbre_entité_support_EI Transac ()
Rôle Manager	Nombre contraintes dans un processus	Déterminer Nbre_contraintes_processus
	Nombre total contraintes dans une activité	Déterminer Nbre_contraintes_total ()
	Nombre total managers dans EI_Transactionnelle	Déterminer Nbre_manager_EI trans ()

CLASSE	ATTRIBUTS	METHODES
EI_Communaautaire	Nombre de membres total dans l'EI_Communaautaire	Déterminer Nbre_membre_EI communautaire ()
EI_Transactionnelle	Nombre total participants	Déterminer Nbre_participants_total ()
Activité	Nombre total coopérations par échange associées à l'activité	Déterminer Nbre_coop_échange ()
	Nombre total coopérations par négociation // l'activité	Déterminer Nbre_coop_négociation ()
	Nombre total communications associées à l'activité	Déterminer Nbre_communications ()
	Nombre total transactions	Déterminer Nbre_total_transaction ()
Situation	Complexité selon la nature d'objet	Calculer Comp_Obj ()
	Complexité selon les entités participantes	Calculer Comp_Entité ()
	Complexité selon l'aspect contrainte	Calculer Comp_Contrainte ()
Connaissance Technique	Liste connaissances techniques opérationnels	
	Niveau maîtrise connaissance technique opérationnel	Calculer niveau maîtrise ()
	Liste connaissances techniques objet	
	Niveau maîtrise connaissance technique objet	Calculer niveau maîtrise ()
	Liste connaissances techniques support	
	Niveau maîtrise connaissance technique support	Calculer niveau maîtrise ()
Capacité Opératoire	Capacité d'analyse	Calculer niveau Analyse ()
	Capacité d'organisation	Calculer niveau organisation ()
Capacité relative au Règles de conduite	Capacité décisionnelle	Calculer niveau décisionnel ()
	Capacité relationnelle	Calculer niveau relationnel ()

Tableau A-14. Attributs et méthodes

ANNEXE V : MODELISATION

DYNAMIQUE DES ENTITES

INTERACTIONNELLES

Cette partie représente un résultat axillaire de notre thèse et concerne la modélisation dynamique par des diagrammes d'activités du fonctionnement des entités interactionnelles activité, communication et coopération à travers le concept de rôle spécifique. Notre objectif été de spécifier un système collaboratif d'aide à traçabilité en temps réel [Belkadi &al., 2005d], [Belkadi &al., 2006c]. Le diagramme des cas d'utilisation suivant (figure A-79) résume les fonctionnalités désirées de ce type de système. D'autres diagrammes dynamiques de type diagramme de séquences et diagrammes d'états transitions ont été réalisés, en complément, comme une première spécification du système mais ne seront pas présentés dans ce mémoire.

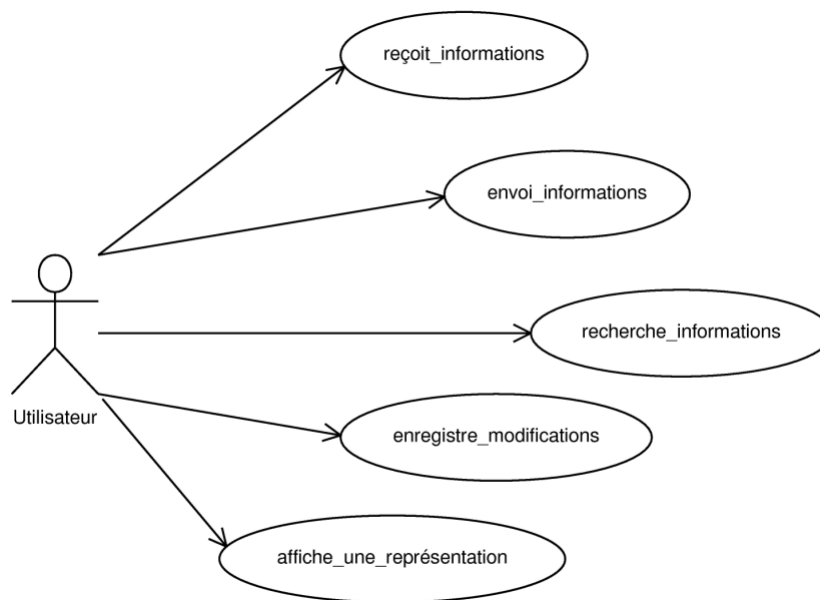


Figure A-79. Représentation des cas d'utilisation possibles

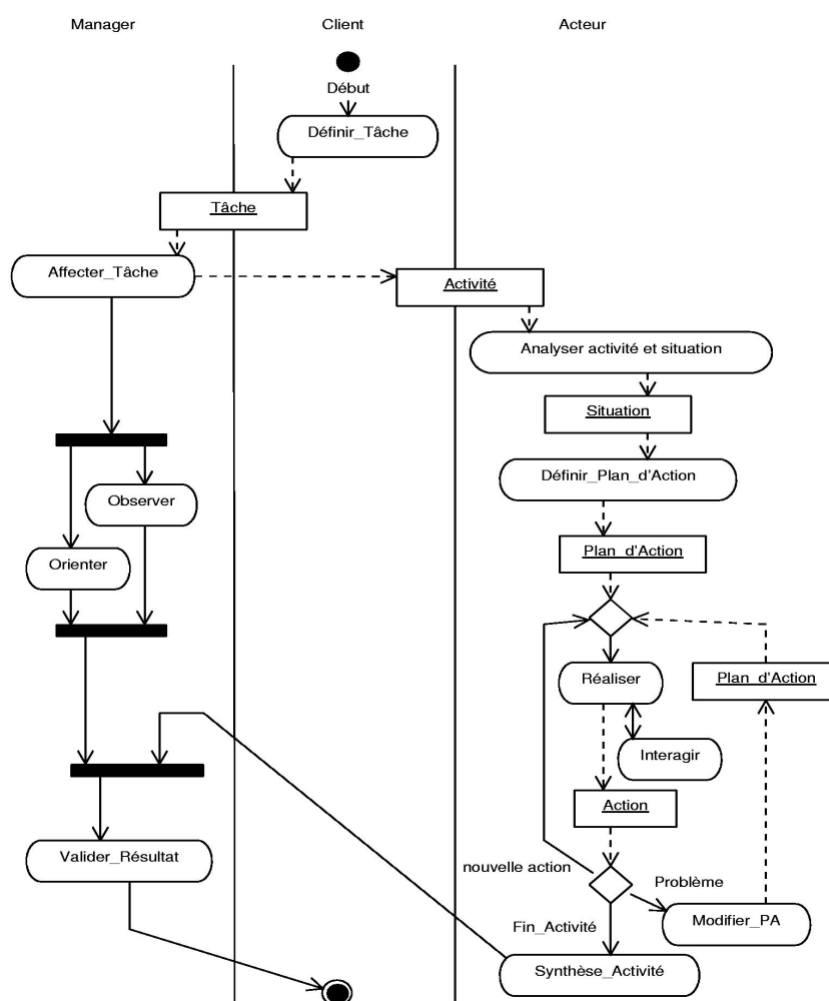


Figure A-80. Diagramme d'activité pour la réalisation d'une E.I. "Activité"

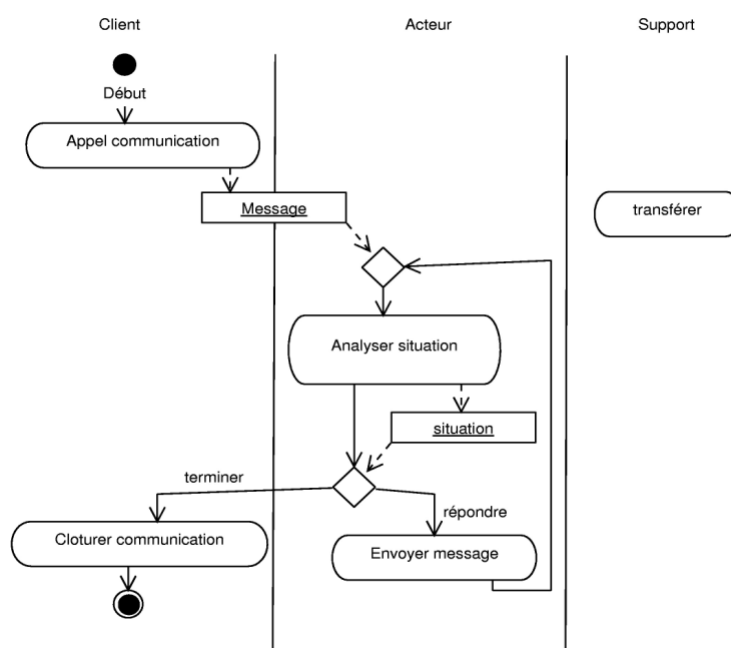


Figure A-81. Diagramme d'activité pour l'E.I. "Communication"

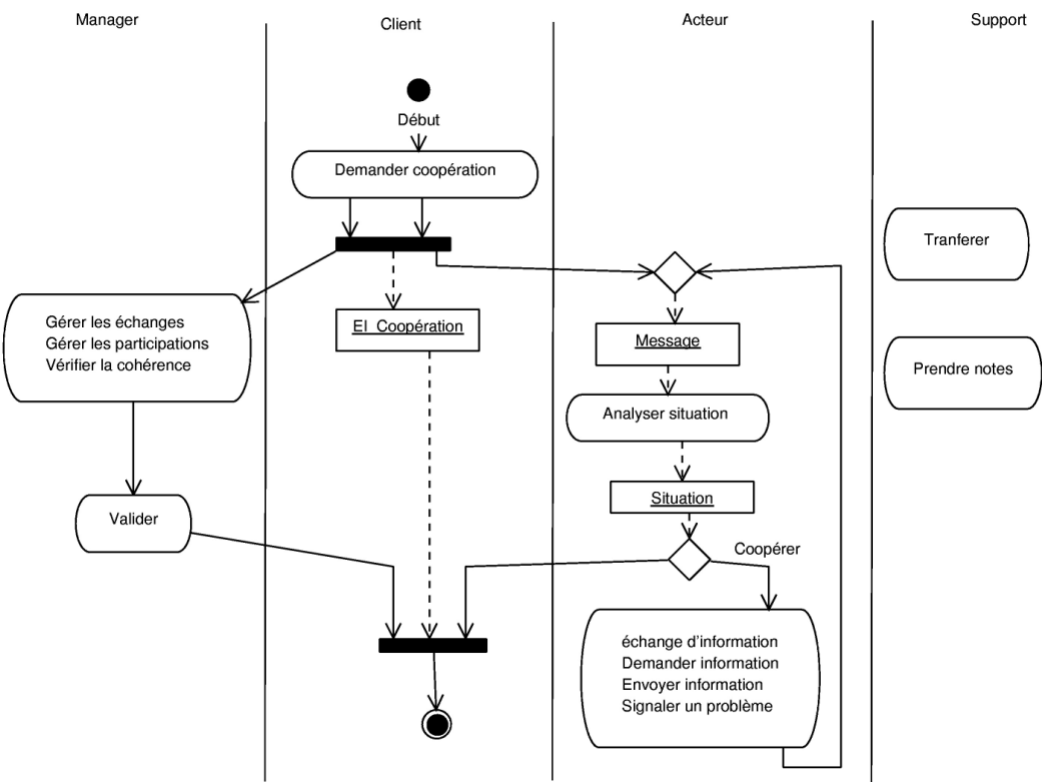


Figure A-82. Diagramme d'activité pour l'E.I. "Coopération par échange"

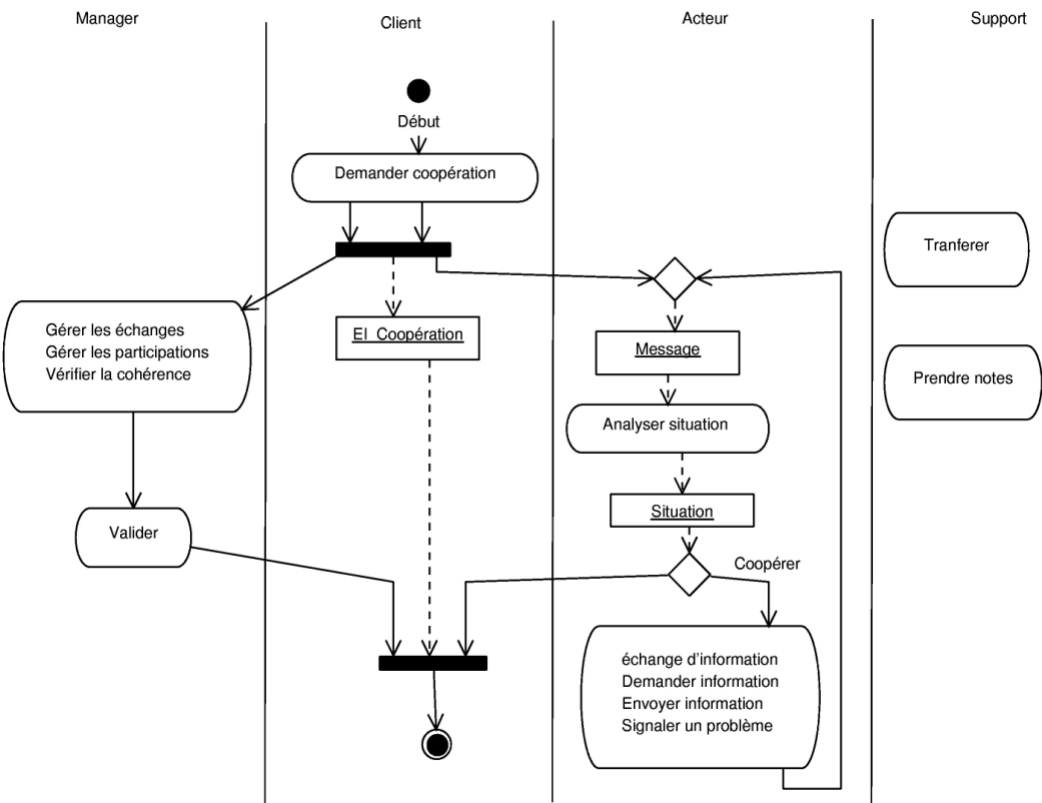


Figure A-83. Diagramme d'activité pour l'E.I. "Coopération par négociation"

ANNEXE VI : DESCRIPTION DU PROCESSUS DE CONCEPTION TECHNIQUE

N°	Activité	Actions	Objet	Support	Contrainte M
1	Préparer les solutions techniques A : 5 ; O : 2 ; S : 5 ; C : 4 ;	<ul style="list-style-type: none"> - Inventorier les principes de solution technique - Inventorier la quincaillerie - Choisir la solution "tube" - Vérifier la contrainte stabilité - Ajuster la position pour le respect de la contrainte stabilité 	<ul style="list-style-type: none"> - Document synthèse - Croquis 	<ul style="list-style-type: none"> - Manuel références quincaillerie - Modèle fonctionnel - Base de données - Logiciel CAO - Logiciel traitement des solutions tech. 	<ul style="list-style-type: none"> - Quincailleries excitantes dans le magasin - Esthétique - Procédé de folding non maîtrisé par l'entreprise - Contrainte de stabilité
2	Intégrer les normes et sécurité A : 2 ; O : 1 ; S : 3 ; C : 1 ;	<ul style="list-style-type: none"> - Recenser les normes du domaine - Définir les positions centriques que le meuble peut prendre 	<ul style="list-style-type: none"> - Documents de synthèse (normes) 	<ul style="list-style-type: none"> - Base de données - Manuel des normes - Croquis 	<ul style="list-style-type: none"> - Respect des normes
3	Réaliser les plans A : 9 ; O : 1 ; S : 3 ; C : 3 ;	<ul style="list-style-type: none"> - Modéliser le meuble - Rechercher avec le logiciel de traitement les différentes combinaisons de paramètres du tube - Evaluer - Choisir une quincaillerie adaptée à la solution tube en fct des paramètres - faire les cotations correspondantes sur le plan - Choisir un pied, des roulettes et un plateau tournant dans la quincaillerie - Intégrer dans le 	<ul style="list-style-type: none"> - Plans 	<ul style="list-style-type: none"> - Logiciel CAO - Logiciel traitement des solutions tech. - Manuel références quincaillerie 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrainte UGV, éviter les petites pièces et les panneaux > 28 mm - Logiciel de traitement préconfiguré - Contrainte de résistance

		modèle meuble - identifier les points de contact avec les nouveaux composants -Faire les plans de cotations finales y compris le pied, le plateau et les roulettes			
4	Faire la nomenclature A : 2 ; O : 1 ; S : 1 ; C : 0 ;	- Explication des appellations des pièces chez Parisot -Réaliser la nomenclature de chaque pièce	- Fiche de nomenclature	- Logiciel traitement	
5	Faire le chiffrage A : 3 ; O : 1 ; S : 2 ; C : 1 ;	- Recenser le nombre de pièces utilisées selon la nomenclature - Approximer l'ordre des prix - Faire le chiffrage	- Devis approximatif	- Fiche de nomenclature - Plans	- Conformité de la nomenclature
6	Optimiser la matière A : 3 ; O : 1 ; S : 2 ; C : 1 ;	- Prendre compte des espaces pour passage des câbles - Prendre compte des contraintes fabrication - Introduire données pour le calcul d'optimisation sur logiciel	- Document synthèse (optimisation)	- Logiciel de calcul d'optimisation -Plans	- Optimisation prédéterminée 8% de chutes max

Tableau A-15. Description des activités associées au processus de conception technique

N° Activité	Nombre Actions	Nombre objet	Nombre support	Nombre contraintes
1	5	2	5	4
2	2	1	3	1
3	9	1	3	3
4	2	1	1	0
5	3	1	2	1
6	3	1	2	1
TOTAL	24	7	17	11

Tableau A-16. Récapitulatif des activités associées au processus de conception technique

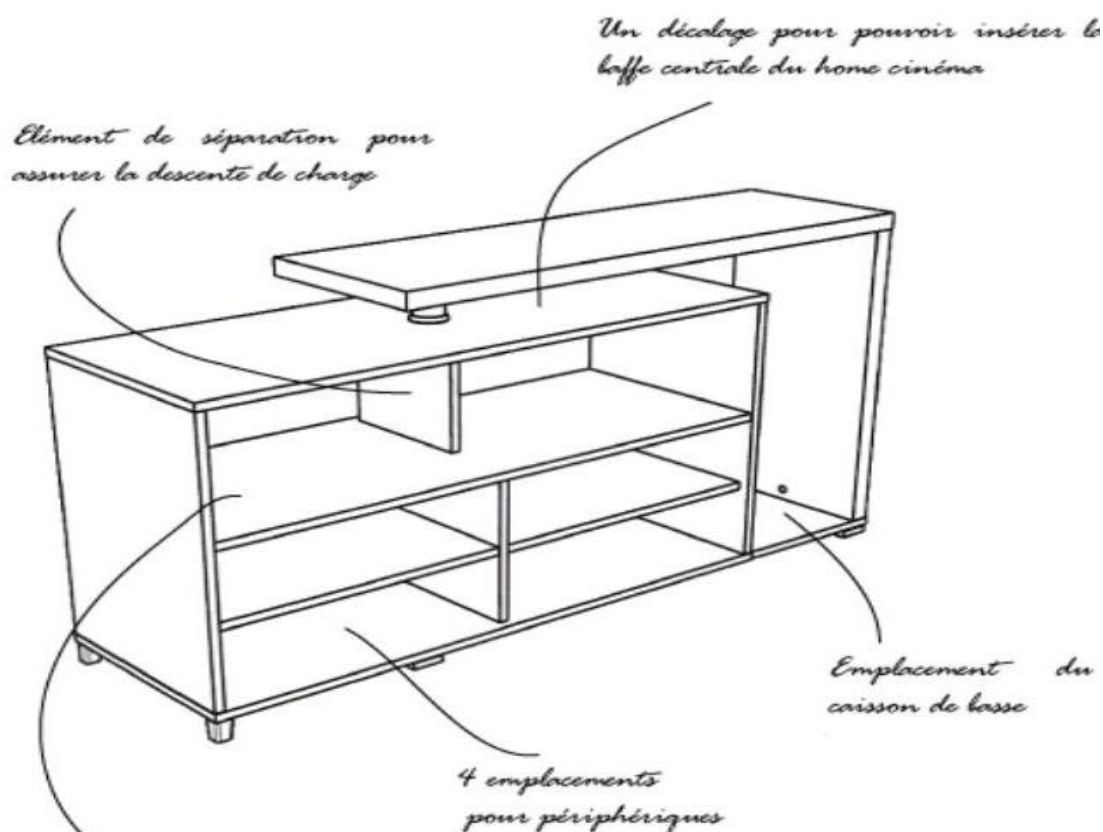


Figure A-84. plan d'ensemble du meuble V0

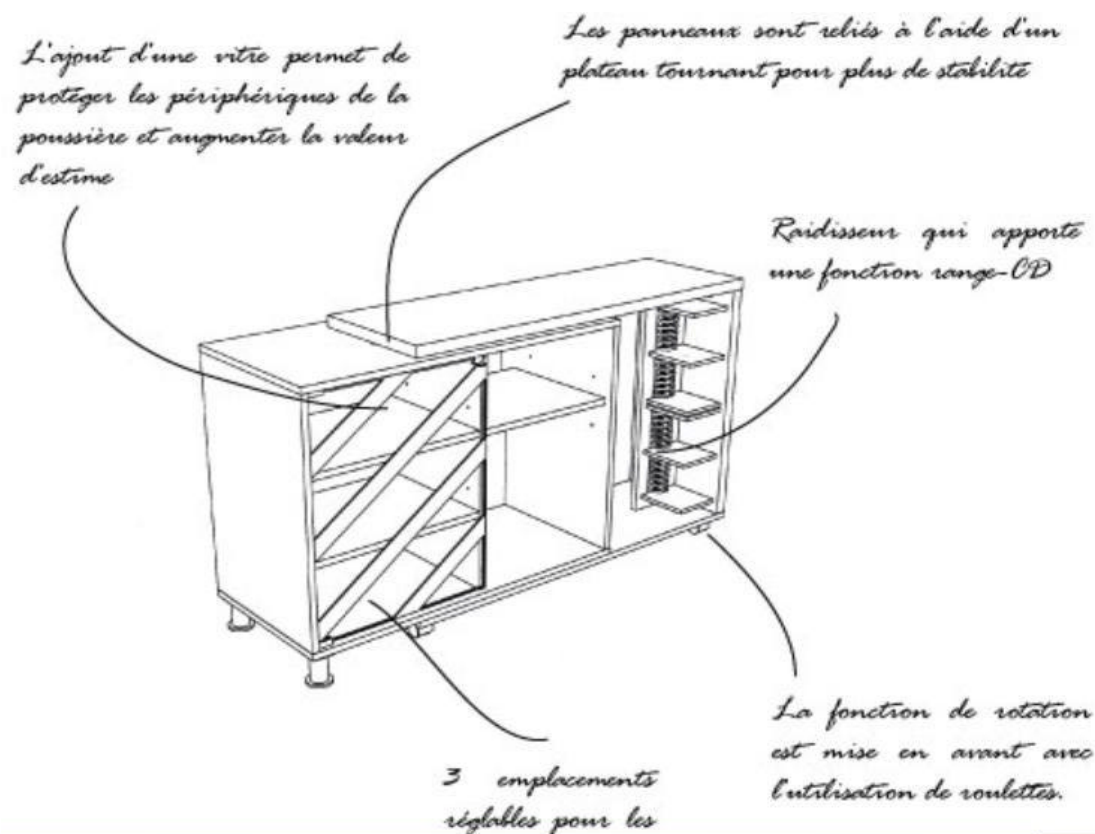


Figure A-85. plan d'ensemble du meuble VF (résultat de l'activité 3)

ANNEXE VII : NOTIONS DE BASE

SUR LA LOGIQUE FLOUE

La logique floue est basée sur des formalismes mathématiques assez développés dépassant le cadre de ce chapitre [Mendel 1995]. Nous nous limiterons ici à présenter le principe intuitif et les principaux formalismes de la logique floue que nous pourrons utiliser dans notre travail.

VII.1. ENSEMBLES CLASSIQUES VS ENSEMBLES FLOUS

Dans la théorie des ensembles classiques, un ensemble est représenté par la liste de ses composants. Pour représenter l'appartenance d'un élément x à un ensemble classique (ou net) A , on définit la fonction caractéristique $\gamma_A(x)$ telle que :

$$\gamma_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in A \\ 0 & \text{si } x \notin A \end{cases}$$

La valeur de vérité est dite dans ce cas complètement bivalente, vraie ou fausse. Considérons un produit assemblé en France. Son appartenance à un ensemble flou est vraie si les composants sont tous fabriqués en France, fausse si ils sont fabriqués à l'étranger. De même, une personne peut être considérée comme habitant prêt de Paris si elle habite par exemple dans un rayon inférieur à 80 km, loin si elle habite dans un rayon supérieur à 80 km.

Cette façon de représenter la distance peut engendrer des ambiguïtés dans les cas limites : quelle sera l'appartenance d'une personne habitant à 78 km ou à 82 km de Paris ?? La logique classique est dans ce cas incapable de représenter des connaissances vagues, imprécises ou approximatives. La logique floue est venue combler ce vide, elle permet par ses propriétés d'intégrer les aspects subjectifs et incertains associés au jugement de l'expert humain, son raisonnement, ainsi qu'à ses appréciations de l'environnement qui l'entoure. Elle permet par ce fait, de modéliser l'incertitude et les imprécisions dans la connaissance :

- Incertitude sur la connaissance : Dans ce cas, on connaît la valeur de x mais on ne sait pas à quel ensemble elle appartient. x peut appartenir à plusieurs ensembles avec différents (ou mêmes) degrés d'appartenance.
- Imprécision sur la connaissance : Dans ce cas, on connaît l'ensemble (ou les ensembles) auquel appartient x mais on ne connaît pas la valeur exacte de x . L'ensemble flou représente la possibilité pour que $x = x'$.

Considérons le produit mentionné plus haut, très souvent les composants ne sont pas tous fabriqués dans le même lieu. Dans ce contexte on peut choisir comme critère représentatif de l'appartenance du produit à un ensemble donné « nombre de composants du produit fabriqués en France ». De ce fait 3 ensembles peuvent être définis, l'appartenance à chaque ensemble n'est pas stricte (absolue), mais comporte des transitions graduelles de l'appartenance (vrai degré 1) ou de la non appartenance (faux degré 0). :

- Produit de fabrication locale dont le taux de composants fabriqués en France est supérieur à 60 %,
- Produit de fabrication mixte correspond aux produits dont le taux de pièces fabriquées en France se situe entre 20 et 80 %,
- Produit de fabrication étrangère dont le taux est inférieur à 20 %.

Cette forme de représentation introduit des espaces de chevauchement représentant les zones d'ambiguïté dans la classification.

VII.2. LES VARIABLES LINGUISTIQUES

Comme son nom l'indique, une variable linguistique (ou floue) est une variable dont les valeurs sont de nature linguistique. Ces valeurs sont exprimées en langage naturel ou artificiel et non pas avec des nombres. L'ensemble des différentes valeurs associées à une variable linguistique **définit l'univers de discours**.

Dans l'exemple de la classification du produit, type de fabrication est une variable linguistique, l'univers de discours de cette variable est composé des valeurs linguistiques (ou floues) : « fabrication locale » ; « fabrication étrangère » et « fabrication mixte ». La structure associée à une variable linguistique est la suivante :

$\{ L, A, C, \mu_A \}$ telle que :

- **L** : Nom de la variable exemple : « type de fabrication »,
- **A** : Valeurs floue de la variable linguistique {fabrication locale, ...},
- **c**: Intervalle des valeurs numériques réelles associées à la variable,
- **μ_A** : Interprétation de la valeur linguistique en fonction des valeurs quantitative x de χ et leur degré d'appartenance à cette valeur (notée : $\mu_A(x)$ tel que $\mu_A(x) \in [0, 1]$).

$$\mu_A = \sum_{x \in C} [\mu_A(x) / x] = \mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + \dots + \mu_A(x_n)/x_n + \dots$$

Exemple : la variable logique « type de fabrication » prend l'interprétation suivante :

$$m_{(\text{fabrication locale})} = 0/0\% + \dots + 0/60\% + \dots + 0,5/70\% \dots + 1/80\% + \dots 1/100\%.$$

$$m_{(\text{fabrication mixte})} = 0/0\% + \dots + 0/20\% + \dots + 0,5/30\% \dots + 1/30\% + \dots 1/70\% + \dots$$

$$m_{(\text{fabrication étrang.})} = 1/10\% + \dots + 1/15\% + \dots + 0,5/22,5\% \dots + 0/30\% + \dots 0/100\%.$$

La première ligne signifie : un produit possédant un nombre de composants variant entre 0% et 60% n'appartient pas à l'ensemble « fabrication locale », un produit dont le nombre de composant est de 70% est considéré de fabrication locale avec un degré d'appartenance de 0,50. Le même produit est considéré de fabrication mixte avec un degré d'appartenance de 0,5.

VII.3. LES FONCTIONS D'APPARTENANCE:

La fonction d'appartenance exprime la variation du degré d'appartenance $m_A(x)$ sur l'intervalle [0,1] en fonction des variations de x sur l'intervalle c des valeurs réelles associée à la variable linguistique. Elle représente la fonction mathématique associée à un sous ensemble flou. Par exemple, la fonction d'appartenance de la valeur floue « fabrication mixte » est donnée par la fonction qui s'exprime comme suit :

$$m_{(\text{fabrication mixte})}(x) = \begin{cases} 0 & x \hat{=} [00, 20] \% \text{ È } [80, 100] \% \\ 0,05.X - 1 & x \hat{=} [20, 40] \% \\ 1 & x \hat{=} [40, 60] \% \\ - 0,05.X + 4 & x \hat{=} [60, 80] \% \end{cases}$$

Dans la littérature, plusieurs formes particulières de fonctions d'appartenance sont proposées, les plus utilisées sont les formes triangulaires, trapézoïdales, gaussiennes ou gaussiennes, ... Dans notre exemple, la forme choisie est de type trapézoïde (figure A-86):

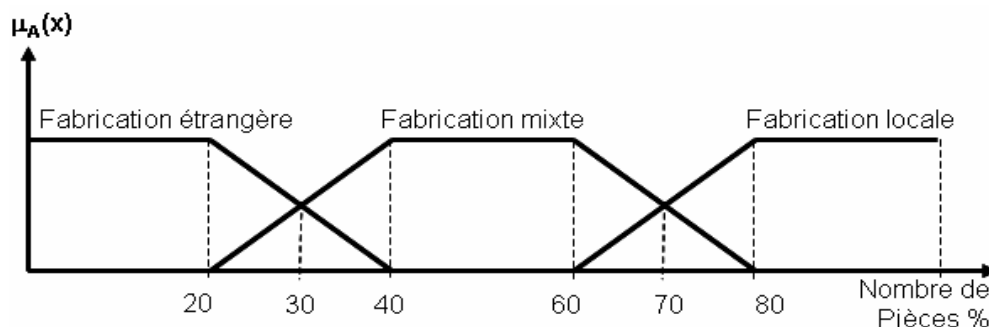


Figure A-86. Fonctions d'appartenance pour la variable « type de fabrication »

Une fonction d'appartenance est définie par sa hauteur, son noyau et son support. Le complément d'un sous ensemble flou est donné par : $Comp(A) = \{x \in X / \mu_A(x) = 1 - \mu_A(x)\}$.

**** Remarque importante : (fonction d'appartenance et loi de probabilité) ****

Bien que les deux concepts : « fonction d'appartenance » et « loi de probabilité » affectent toutes les deux des valeurs dans l'intervalle $[0,1]$ avec des formes de distributions similaires (gaussienne, triangulaire, ...), il s'agit en réalité de deux disciplines totalement différentes, un degré d'appartenance constitue une mesure de **croissance** par rapport à une notion vague telle que grand, intelligent, loin, ... Par contre, une probabilité est inévitablement associée à la notion d'événement aléatoire, elle représente **l'éventualité de l'occurrence** de cet événement.

VII.4. RAISONNEMENT APPROXIMATIF ET DEDUCTIONS FLOUES

Le principal objectif de la logique floue est de pouvoir modéliser, imiter et simuler les fonctionnalités du raisonnement humain dans des situations incertaines ou imprécises. La logique floue permet aussi de manipuler des valeurs qualitatives plutôt que quantitatives. Dans ses travaux, Zadeh a initié le développement d'une nouvelle méthodologie de computation qui exprime le processus général du raisonnement approximatif à partir d'un système d'inférences floues. Un système d'inférences est composé par un ensemble de règles floues, dites règles d'inférences. Une règle d'inférences prend la forme générale suivante :

{ **SI** Prémisses **ALORS** Conséquences }

La partie « Prémisses » comporte un ensemble de propositions (P est V_p) à vérifier, elle regroupe les conditions qui dirigent une possibilité de solution du problème à résoudre. La partie « Conséquences » contient les conclusions relatives à ces conditions (solution), elle représente les décisions à prendre si une possibilité se présente. La forme globale d'un système à base de règles d'inférences est obtenue par une combinaison de toutes les règles possibles :

SI $P1$ est $V11$ (**ET/OU**) $P2$ est $V21$ (**ET/OU**) ... **ALORS** C est $C1$,
OU **SI** $P1$ est $V12$ (**ET/OU**) $P2$ est $V22$ (**ET/OU**) ... **ALORS** C est $C2$,
OU
OU **SI** $P1$ est $V1n$ (**ET/OU**) $P2$ est $V2n$ (**ET/OU**) ... **ALORS** C est Cn .

L'interprétation du raisonnement flou revient à déduire les résultats des implications associées aux règles floues à l'aide des opérateurs triangulaires *T-norme*, *T-conorme*. Le résultat global est une agrégation de toutes les implications à l'aide d'un *T-conorme* adapté [Dubois & al., 1991]. Une implication floue ($A \rightarrow B$) peut être représentée soit par une implication classique

(c.à.d. l'opération $(\text{NON}(A) \text{ OU } B)$), soit par une opération d'intersection $(A \cap B)$. L'interprétation d'une implication floue est obtenue par une application des opérateurs T -norme et T -conorme.

VII.5. LES OPERATIONS FLOUES

Comme dans le cas des ensembles classiques, plusieurs opérations sont possibles sur les ensembles flous telles que : l'intersection, l'union et le complément. Toutes les propriétés définies dans la logique classique (associativité, distributivité, Morgan, ...) sont extensibles à la théorie de la logique floue. On retrouve dans la littérature une multitude de définitions des opérateurs T -norme et T -conorme (S -norme) implémentant ces opérations.

Un opérateur T -norme est une fonction quelconque de $([0,1] \times [0,1])$ vers $[0,1]$ permettant de définir la valeur d'une intersection de deux sous-ensembles (ou un opérateur logique ET). Une fonction est dite T -norme si elle satisfait les quatre critères suivants :

Associativité : $T(T(a,b),c) = T(a,T(b,c))$; Isotonie : $T(a, b) \leq T(c,d)$ si $a \leq c$ et $b \leq d$;
Commutativité : $T(a,b) = T(b,a)$; Élément neutre 1 : $T(a, 1) = a$.

Un opérateur T -conorme (S -norme) est une fonction quelconque de $([0,1] \times [0,1])$ vers $[0,1]$ permettant de définir la valeur d'une union de deux sous-ensembles (ou un opérateur logique OU). Une fonction est dite T -norme si elle satisfait les propriétés d'associativité, d'isotonie, de commutativité et possède comme élément neutre la valeur 0 : $S(a, 0) = a$.

Les principaux opérateurs arithmétiques affectés aux opérateurs flous sont : le min, le max, la somme et le produit. Le tableau suivant résume les majeures propositions dans la littérature :

{E : sous-ensemble flou, P : proposition floue ; $a = \mu_A(x)$; $b = \mu_B(x)$; $T(a,b)$: T -norme ; $S(a,b)$: S -norme ; min : opération minimum ; max : opération maximum}.

AUTEUR	$E_A \cap E_B ; P_A \hat{\cap} P_B \hat{=} T(a,b)$	$E_A \cup E_B ; P_A \hat{\cup} P_B \hat{=} S(a,b)$
Zadeh 1973	Min (a,b)	Max (a,b)
Lukasiewicz 1976	Max (a + b - 1, 0)	Min (a + b - 1, 0)
Bandler 1980	a.b	a + b - a.b
Hamacher 1978	$a.b/(\gamma + (1 - \gamma)) ; a + b - ab$ $\gamma \geq 0$	$(a+b - (2 - \gamma).ab)/(1 - (1 - \gamma).ab)$ $\gamma \geq 0$
Weber 1983	a si b = 1 ; b si a = 1 ; 0 sinon	a si b = 0 ; b si a = 0 ; 1 sinon
Arithmétique	a . b	(a + b) / 2
ET et OU flou	$\gamma \min (a,b) + (1-\gamma)(a + b)/2$	$\gamma \max (a,b) + (1-\gamma)(a + b)/2$

Tableau A-17. Différentes formalisations des opérateurs flous T -norme et S -norme

ANNEXE VIII : LES REGLES

D'INFERENCE ET LES FONCTIONS

D'APPARTENANCE

Cette annexe décrit les différentes fonctions d'appartenance que nous avons utilisé pour représentée les variables caractéristiques. Elle contient aussi les règles d'inférences utilisées dans le module de traitement flou.

VIII.1. LES FONCTIONS D'APPARTENANCE

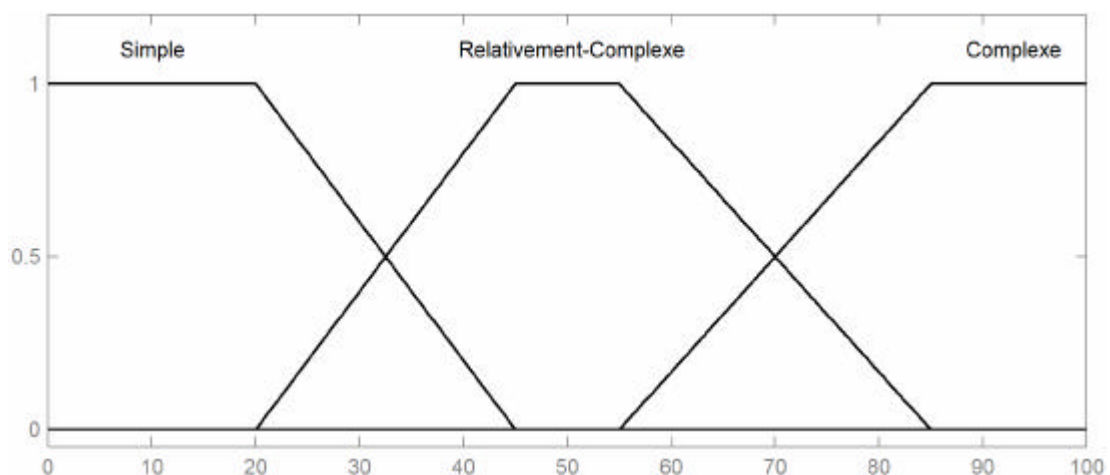


Figure A-87. Fonctions d'appartenance pour la variable « comp_Objct »

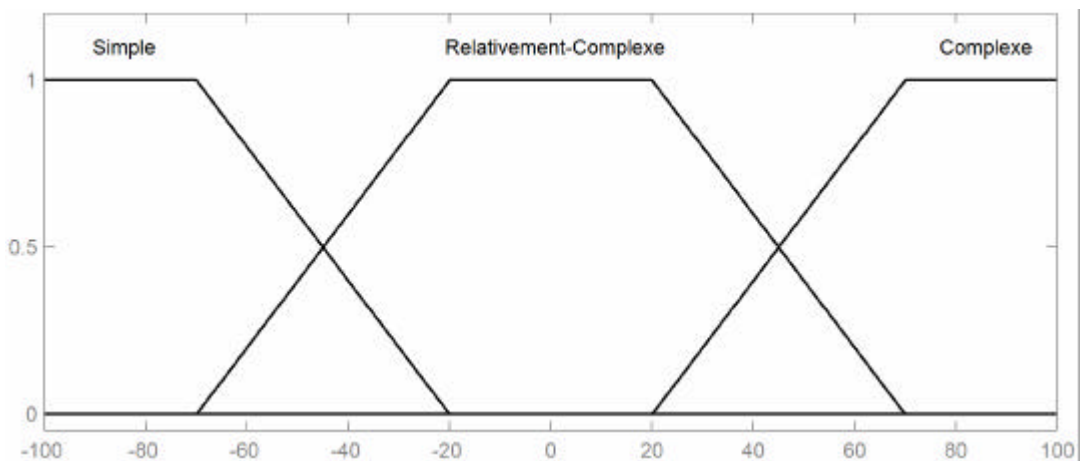


Figure A-88. Fonctions d'appartenance pour les autres variables « complexité »

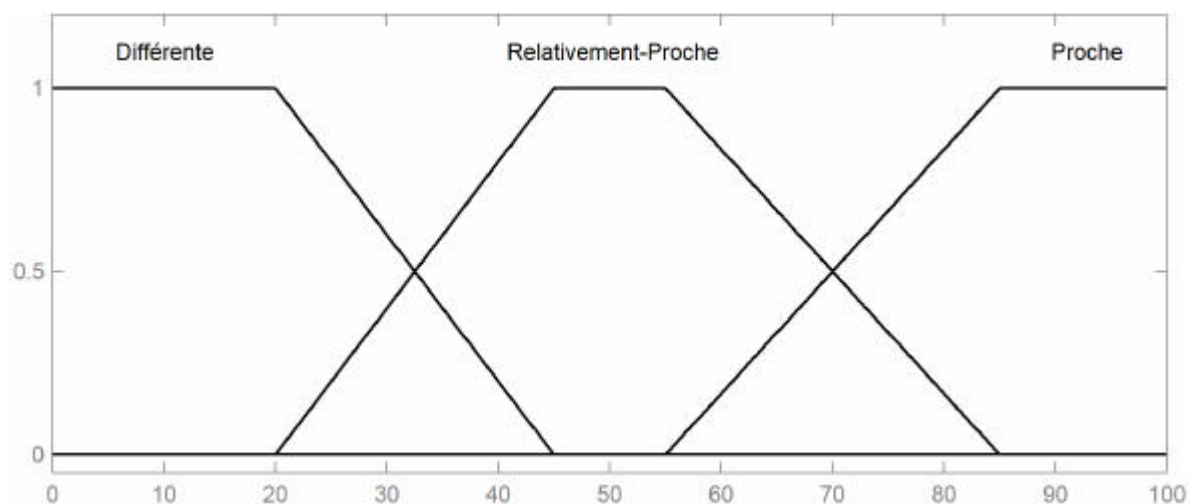


Figure A-89. Fonctions d'appartenance pour les variables « Proximité »

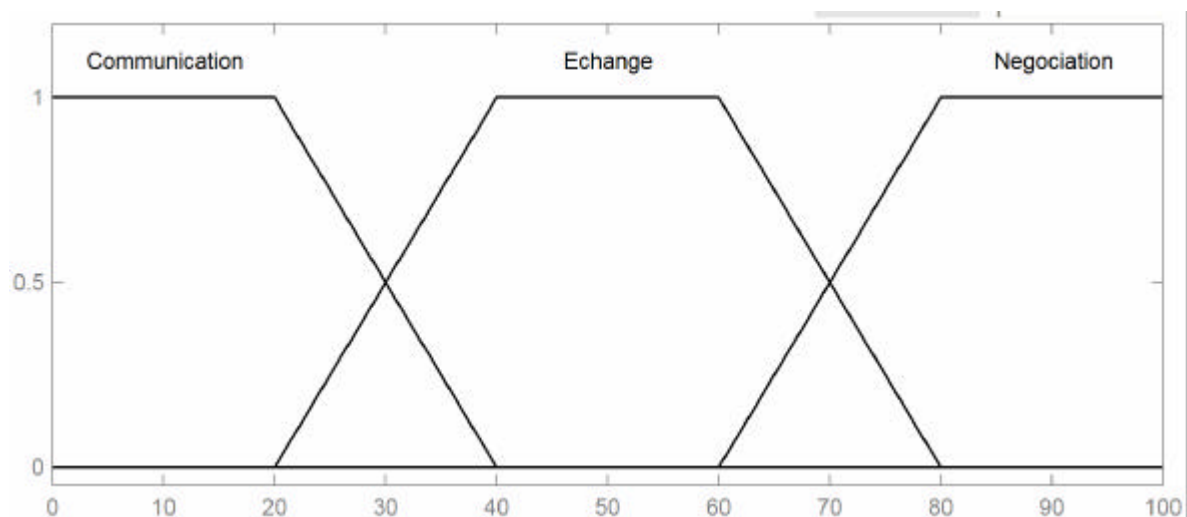


Figure A-90. Fonctions d'appartenance pour la variable « Type de transaction »

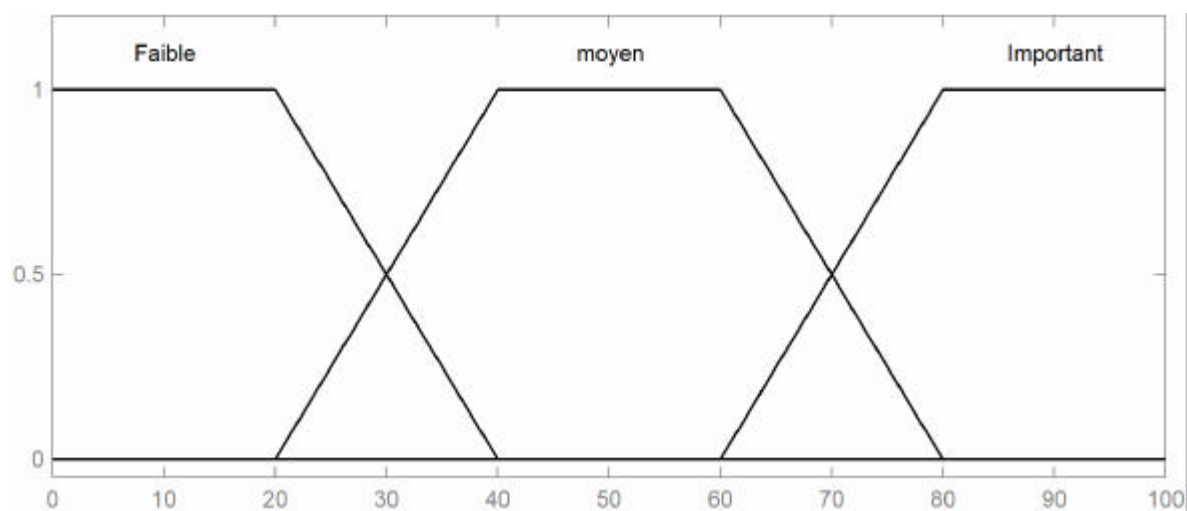


Figure A-91. Fonctions d'appartenance pour la variable « Nombre de participants »

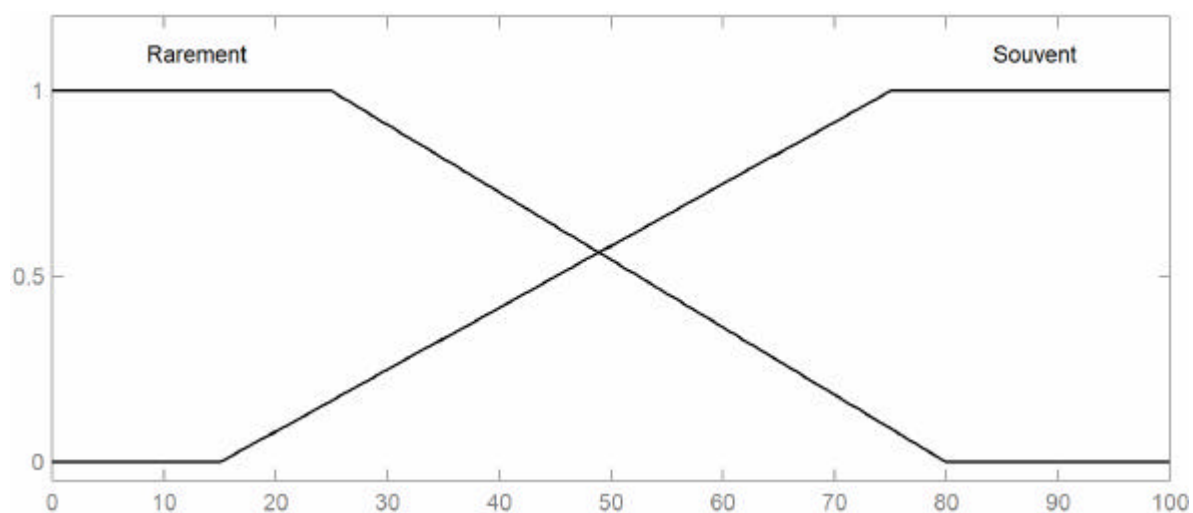


Figure A-92. Fonctions d'appartenance pour la variable «fréquence d'interaction»

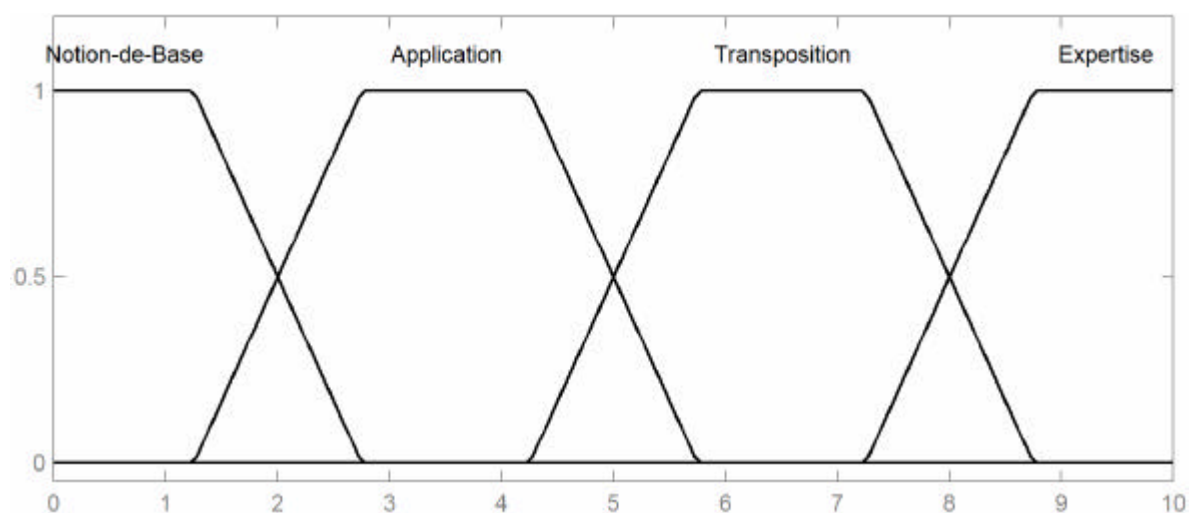


Figure A-93. Fonctions d'appartenance pour les variables «Niveau compétence technique»

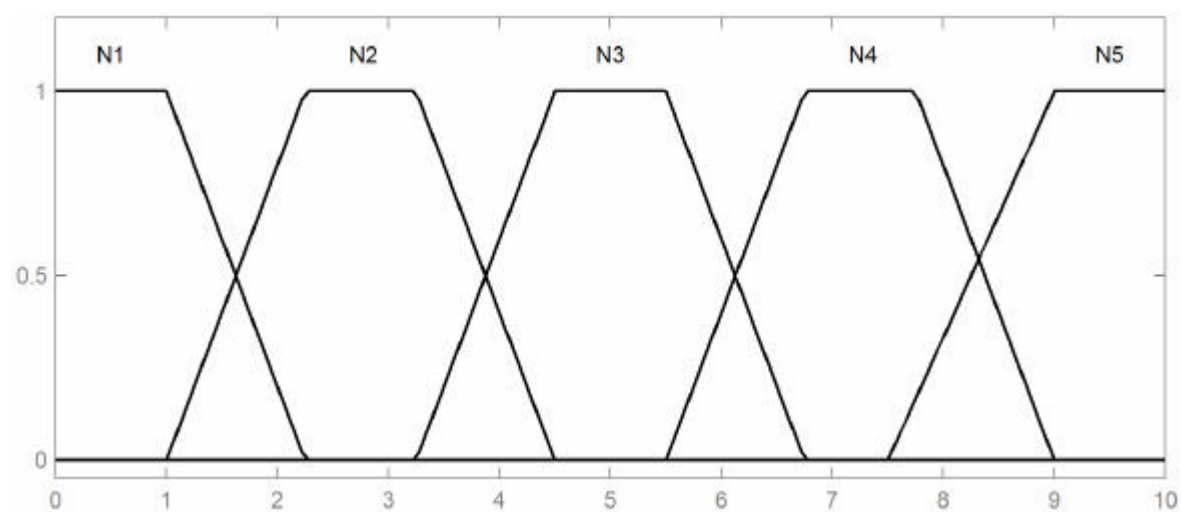


Figure A-94. Fonctions d'appartenance pour les variables «signature de compétence»

VIII.2. LES REGLES D'INFERENCE

Exemple de lecture : les lignes 2 et 3 du tableau suivant signifient :

SI «prox_Exécution» est Différente ET «fréq_Interaction» est Rarement ALORS niveau savoir technique objet est Expertise,

OU

SI «prox_Exécution» est Relativement Proche ET «fréq_Interaction» est Souvent ALORS niveau savoir technique objet est Transposition, ...

- Niveau connaissances techniques «Objet» : (rôle de l'entité dans l'activité = objet)

PREMISSES		CONCLUSION
Proximité Exécution	Fréquence Interaction	Niveau Connaissance Technique Objet
Différente	Souvent	Expertise
	Rarement	Expertise
Relativement Proche	Souvent	Transposition
	Rarement	Transposition
Proche	Souvent	Application
	Rarement	Application

Tableau A-18. Règles d'inférences pour les connaissances techniques objet

- Niveau connaissances techniques «Support» : (rôle entité dans l'activité = support)

PREMISSES		CONCLUSION
Proximité Exécution	Fréquence Interaction	Niveau Connaissance Tech. Support
Différente	Souvent	Expertise
	Rarement	Transposition
Relativement Proche	Souvent	Transposition
	Rarement	Application
Proche	Souvent	Application
	Rarement	Notion de base

Tableau A-19. Règles d'inférences pour les connaissances techniques support

○ Règles d'inférences pour la capacité d'analyse

PREMISSES		CONCLUSION
Proximité Analyse	Complexité objet	Niveau capacité d'analyse
Différente	Simple	N. 1
	Relativement complexe	N. 1
	Complexe	N. 2
Relativement Proche	Simple	N. 2
	Relativement complexe	N. 3
	Complexe	N.4
Proche	Simple	N. 4
	Relativement complexe	N. 5
	Complexe	N. 5

Tableau A-20. Règles d'inférences pour la capacité d'analyse

○ Règles d'inférences pour la capacité d'organisation

PREMISSES		CONCLUSION
Complexité Entité	Complexité Action	Niveau capacité d'organisation
Simple	Simple	N. 1
	Relativement complexe	N. 2
	Complexe	N. 3
Relativement complexe	Simple	N. 2
	Relativement complexe	N. 3
	Complexe	N. 4
Complexe	Simple	N. 3
	Relativement complexe	N. 4
	Complexe	N. 5

Tableau A-21. Règles d'inférences pour la capacité d'organisation

- Règles d'inférences pour la capacité décisionnelle

PREMISSSES		CONCLUSION
Proximité Décision	Complexité Contrainte	Niveau capacité décisionnelle
Différente	Simple	N. 1
	Relativement complexe	N. 1
	Complexe	N. 2
Relativement Proche	Simple	N. 2
	Relativement complexe	N. 3
	Complexe	N. 4
Proche	Simple	N. 4
	Relativement complexe	N. 5
	Complexe	N. 5

Tableau A-22. Règles d'inférences pour la capacité décisionnelle

- Règles d'inférences la capacité relationnelle

PREMISSSES		CONCLUSION
Type Transaction	Nombre Participants	Niveau capacité relationnelle
Communication	Faible	N. 1
	Moyen	N. 1
	Important	N. 2
Echange	Faible	N. 2
	Moyen	N. 3
	Important	N. 4
Négociation	Faible	N. 4
	Moyen	N. 5
	Important	N. 5

Tableau A-23. Règles d'inférences pour la capacité relationnelle

Contribution au pilotage des compétences dans les activités de conception: de la modélisation des situations à la caractérisation des compétences

Résumé

Les évolutions rapides des exigences des clients, des technologies, des organisations, des méthodes et des outils de conception demandent aux concepteurs de développer constamment leurs compétences pour maintenir ou accroître les performances des projets de développement de nouveaux produits. Dans ce contexte, les managers et les concepteurs ont besoin d'outils pour les aider à améliorer le pilotage des compétences mobilisées dans leurs activités. Notre contribution à cette problématique est double : d'une part, une modélisation des situations de travail pour réaliser la traçabilité des activités de conception et d'autre part, une approche floue pour caractériser les compétences.

Pour la formalisation du concept de situation, nous avons proposé un cadre conceptuel définissant la situation par un ensemble d'entités qui participent, par des rôles spécifiques, à différentes interactions. Sur la base de ces concepts, nous avons proposé une modélisation UML de la situation pour structurer l'historique des activités de conception. Pour la caractérisation des compétences, nous avons proposé un modèle de la compétence regroupant un ensemble de connaissances techniques et quatre types de capacités estimées par une note relative. Le processus de caractérisation s'effectue sur deux étapes. La première est une qualification des différentes caractéristiques de la situation par des variables linguistiques. La deuxième est réalisée par un système de logique floue qui convertit le résultat de l'étape de "qualification de la situation" en valeur estimée des composants de la compétence associée. Notre première application en milieu industriel ouvre de nouvelles pistes de recherche. Elle nous a permis de confirmer la possibilité d'utiliser ce "principe de solution" pour répondre à d'autres problématiques de pilotage des compétences.

Mots clés : conception, caractérisation des compétences, traçabilité, mémoire de projet, modèle de situation, logique floue.

Contribution to the competence management in design activities: from the situation modelling to the competence characterization

Abstract

The fast evolutions of customers' requirements, of technologies, organizations, methods and tools in the field of design require that designers are developing their competences in order to maintain or increase the performances of the new product development projects. In this context, managers and designers need tools to help them to improve competence management. Our contribution to these topics is double: on the one hand, a model of the work situations is proposed in order to carry out the traceability of design activities and on the other hand, a fuzzy approach is developed in the aim to characterize competences.

For the first stage, a conceptual framework has been proposed. In this framework, the situation is defined as a set of entities that participate with specific roles into various interactions. According to these concepts, an UML model of the design situation was proposed in order to organize the traces of design activities. For the second stage, we have proposed a model of competence including a set of technical knowledge and four kinds of capacities estimated with relative scores. The characterization process involves two steps: the first step concerns the qualifications of the situation characteristics by means of linguistic variables. The second step is realized by a fuzzy logic system which converts the result of the step of "situation qualification" into an estimated value of the components of the associated competence. The application of the method in an industrial context opens further research. It confirms the possibility of using this "principle of solution" to cope with other needs of competence management.

Key words: Design, competence characterization, traceability, project memory, situation model, fuzzy logic.